LIBRARY OF THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.

Guinon, directeur honoraire de la Station agronomique de Châteauroux.

Margottet, recteur de l'Académie de Lille.

Th. Schlœsing, de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique.

E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.

A. Girard, de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers.

A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Ronna, membre du Conseil supérieur de l'agriculture.

Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.

E. Reuss, inspecteur des forêts à Alger.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

COLONIES FRANÇAISES.

H. Lecomte, docteur ès sciences, professeur au lycée Saint-Louis.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.

J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.

Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.

Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.

Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de l'État (Gembloux).

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

João Motta dâ Prego, à Lisbonne.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Berkeley (Californie).

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Dr Al. Atterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — TROISIÈME ANNÉE — 1897

Tome II.

Avec figures dans le texte.

PARIS

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, rue des Beaux-Arts, 5

MÊME MAISON A NANCY

1897

1897
t. 2

ÉTUDES

SUR

LA CANNE A SUCRE

DOSAGE DU SUCRE — COMPOSITION DE LA CANNE — ÉCHANTILLONNAGE

PAR

M. H. PELLET

CHIMISTE-CONSEIL

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDES SUR LA QUALITÉ DES DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DE CANNES

(*Suite.*)

Il y a évidemment un très grand intérêt à connaître les meilleures qualités de cannes à planter pour tel pays, car les différences peuvent être considérables tant au point de vue de la richesse que du rendement en poids et du sucre total produit à l'hectare. Pour citer des expériences récentes à ce sujet, nous emprunterons à un article publié dans la *Sucrerie indigène,* du 14 septembre 1897, deux tableaux concernant les rendements en poids de 10 variétés de cannes, avec les richesses correspondantes. On verra que la quantité de sucre à l'hectare peut varier de 7 588 à 12 150 kilogr. à l'hectare. (Résultats extraits de la gazette officielle, *la Barbade,* 19 juillet 1897.)

Essais dans les jardins botaniques de Demerara.

Tableau LIX.

DÉSIGNATION des variétés.	KILOGR. de cannes à l'hectare.
Seedling, 145	77 000
Seedling, 147	70 200
Burke	67 771
Seedling, 149	65 261
Seedling, 115	59 460
Queensland créole	58 986
Caledonian queen	55 221
Bourbon	54 200
Seedling, 7	54 000
White transparent	51 000

Tableau LX.

RICHESSE.	SUCRE p. 100 gr. de jus.	SUCRE p. 100 kg de cannes. (coeff. 88).	SUCRE total produit à l'hectare.
Caledonian queen	18.30	16.10	8 890
Queesland créole	18.11	15.93	9 396
Seedling, 115	18.08	15.90	9 454
White transparent	18.05	15.87	8 093
Seedling, 145	17.96	15.77	12 150
Seedling, 7	17.65	15.53	8 426
Seedling, 147	16.75	14.74	10 290
Burke	16.66	14.66	9 935
Bourbon	15.91	14.00	7 588

Des expériences ont été également entreprises au Brésil depuis plusieurs années et il a été constaté, suivant les variétés de cannes, des rendements de 25 000 à 115 000 kilogr. à l'hectare et des richesses allant de 11 à 17 pour 100 gr. de cannes.

QUATRIÈME PARTIE

SUR LE DOSAGE DIRECT ET INDIRECT DU SUCRE CRISTALLISABLE ET DU SUCRE INCRISTALLISABLE DANS LA CANNE A SUCRE

Dans une étude spéciale, intitulée : *le Dosage du sucre cristallisable dans la betterave*, nous avons donné la description des 20 procédés employés, depuis 1747 jusqu'en 1886, pour le dosage direct ou indirect du sucre dans la betterave, sans assurer que la liste était complète.

Nous n'avons nullement l'intention de les résumer et nous renvoyons le lecteur que cela peut intéresser à notre travail paru dans les *Annales de la Science agronomique française et étrangère* (tome Ier, 1892), sous la direction de M. L. Grandeau[1].

Quelques-uns de ces procédés peuvent être appliqués au dosage du sucre dans la canne, mais nous en parlerons au fur et à mesure que nous décrirons les différentes méthodes directes ou indirectes et les procédés basés sur l'emploi de l'eau ou de l'alcool par digestion ou par extraction.

Depuis 1886, de grands progrès ont été réalisés dans les méthodes employées pour le dosage direct du sucre contenu dans la betterave.

Pour ne pas trop nous étendre et pour comparer en outre l'analyse de la betterave à celle de la canne, nous suivrons le même ordre que celui que nous avons suivi dans la troisième partie de notre travail relatif au dosage direct du sucre dans la betterave.

---

1. Brochure tirée à part de 164 pages.

I. — Des différents procédés qui peuvent être appliqués à l'analyse de la canne pour le dosage direct du sucre cristallisable qu'elle renferme.

On peut résumer ainsi les divers procédés :
Procédés chimiques;
Procédés physiques (polarimétriques).

a) PROCÉDÉS CHIMIQUES

Les procédés chimiques reposent principalement sur le dosage du sucre cristallisable (transformé en sucre inverti), au moyen de la liqueur de Fehling ou de Violette. Ils ne sont plus employés pour ainsi dire lorsqu'il s'agit de l'analyse directe de la betterave ou de la canne, et ils sont réservés seulement au dosage du sucre inverti. Nous aurons donc à en parler lorsque nous traiterons de la question du dosage des sucres réducteurs contenus dans la canne à sucre.

b) PROCÉDÉS PHYSIQUES (POLARIMÉTRIQUES)

Les procédés physiques (polarimétriques) sont basés sur l'emploi du saccharimètre pour la détermination directe du sucre. Ils peuvent être divisés en deux groupes.

1er groupe A. *Procédés à l'alcool.*
2e — B. *Procédés à l'eau.*

A. Les *procédés à l'alcool* connus pour la betterave sont les suivants :

1° Extraction alcoolique (Riffard-Scheibler);
2° Digestion alcoolique à froid (Stammer);
3° Digestion alcoolique à chaud (Degener, Rapp-Degener, etc).

B. Les *procédés à l'eau* également connus pour la betterave sont les suivants :

1° Extraction aqueuse à froid (Pellet);

2° Extraction aqueuse à chaud (Pellet);
3° Extraction aqueuse à chaud (Delville);
4° Extraction aqueuse à chaud (Vivien-Castels);
5° Extraction par épuisements successifs à chaud (divers);
6° et 7° Digestion aqueuse à chaud (Pellet-Wiley) [bain-marie];
8° Digestion aqueuse avec eau chaude (divers);
9° et 10° Diffusion instantanée aqueuse à froid (modification Kaiser-Leuwenberg).

Nous allons passer maintenant rapidement en revue ces diverses méthodes, en indiquant si actuellement elles sont applicables au dosage direct du sucre dans la canne à sucre.

A. — Procédés à l'alcool.

1° *Procédé Riffard. — Scheibler* (Extraction alcoolique).

Ce procédé est parfaitement applicable au dosage direct du sucre dans la canne à sucre.

Nous ne décrirons pas le procédé Scheibler bien connu, soit à l'aide de son extracteur, soit à l'aide de tous les extracteurs imaginés pour l'analyse de la betterave (Sohxlet, Kunter, Pellet, etc.). Relativement au procédé Riffard, nous renverrons le lecteur à notre travail (brochure, p. 14), ou mieux en remontant à la source de nos renseignements, c'est-à-dire dans la magnifique *Étude historique, chimique et industrielle des produits d'analyse des matières sucrées;* 1 volume, p. 405 et suivantes (1884), par H. Leplay.

Le procédé Riffard est basé sur l'emploi de l'alcool pour extraire le sucre de la matière divisée, et en utilisant les appareils dits extracteurs, genre Payen.

2° *Digestion alcoolique à froid.*

La digestion alcoolique à froid indiquée par Stammer n'est applicable dans certaines conditions qu'à l'analyse de la betterave.

Ce procédé exige une pulpe véritablement à l'état de crème, c'est-à-dire excessivement fine. Déjà pour la betterave, cette divi-

sion extrême présente de grandes difficultés, surtout pour éviter la dessiccation de la matière et ensuite pour obtenir un poids notable de substance à l'état convenable pour le procédé.

Mais lorsqu'il s'agit de la canne, nous croyons devoir dire que, jusqu'à présent, on n'est pas parvenu à la réduire à l'état de pulpe analysable par la méthode alcoolique à froid de Stammer.

3° *Digestion alcoolique à chaud.*

La digestion alcoolique à chaud est parfaitement applicable à l'analyse de la canne. Seulement, comme le sucre est beaucoup moins rapidement soluble dans l'alcool que dans l'eau et que la division de la canne présente plus de difficultés que celle de la betterave, il s'ensuit que les résultats fournis par la digestion alcoolique de la canne sont beaucoup plus incertains que lorsqu'elle est appliquée au dosage direct du sucre dans la betterave.

Avant de passer en revue les *Procédés aqueux,* examinons et résumons les essais qui ont été faits pour le dosage direct du sucre dans la canne, soit par extraction, soit par digestion alcoolique.

Le dosage direct du sucre dans la canne par extraction alcoolique a été étudié dans plusieurs laboratoires, mais c'est principalement dans le laboratoire de Kagok-Tegal, à Java, que cette méthode a été expérimentée, comparativement avec d'autres procédés par digestion alcoolique ou par digestion aqueuse.

Nous extrayons les renseignements ci-après de l'ouvrage du Dr Krüger, intitulé : *Berichte der Versuchsstationen für Zuckerrohr in West-Java, Kagok-Tegal* (Java), Heft I.

On découpe la canne au moyen d'un coupe-cannes à cinq couteaux, et on obtient des rondelles d'un millimètre d'épaisseur, qu'on divise ensuite à la main en morceaux de 3 à 4 millimètres de grandeur. (Nous préférons pour cela le mortier.) On peut préparer ainsi quelques kilos de cossettes en 10 minutes, et on évite sensiblement l'évaporation. (Nous ne le pensons pas, malgré ce que dit l'auteur, qu'après une demi-heure à l'air libre le dosage ait été de 16.20 au lieu de 16.44 avant.)

L'auteur s'est servi de telles cossettes pour l'analyse par l'alcool

Il a toujours employé l'alcool *absolu du commerce*. Durée de l'extraction : deux heures.

L'auteur a eu sur un même échantillon :

Tableau LXI.

	1.	2.	3.
Extraction alcoolique (2 heures).	17.5	16.5	14.3
Digestion alcoolique —	16.7	15.7	13.0

La digestion alcoolique donne un résultat trop bas.

En prolongeant la digestion durant trois heures, on obtient des chiffres qui se rapprochent de l'extraction alcoolique, les légères différences pouvant provenir de l'échantillon même :

Extraction alcoolique.	18.4	16.9	14.5	15.2	17.2	15.9
Digestion alcoolique .	18.5	16.9	14.5	15.2	17.8	16.2

L'auteur a remarqué que la digestion pouvait se faire aussi bien à l'*eau* qu'à l'*alcool;* que c'était plus simple, plus rapide, plus exact, puisqu'on pouvait prendre plus de matière à analyser, la digestion se faisant au bain-marie bouillant durant une heure. Mais M. H. Winter ne veut pas abandonner tout à fait l'alcool. Il en met pour baigner les cossettes, ce qui agit comme antiseptique, dit-il, puis il met de l'eau aux trois quarts du ballon, fait la digestion aqueuse pour ainsi dire, et complète le ballon avec de l'alcool. On voit que dans les trois cas la richesse du liquide en alcool est bien différente, et on peut admettre que la deuxième est une digestion aqueuse.

Or, les résultats sont très concordants par les trois méthodes :

Tableau LXII.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Extraction alcoolique.	16.5	14.3	15.4	16.9	14.5	15.2
Digestion aqueuse . .	16.6	14.3	18.5	16.9	14.5	15.1[1]
Digestion alcoolique .	18.5	16.9	17.8	14.5	16.2	15.2[1]
Digestion aqueuse . .	18.5	16.9	17.8	14.5	16.3	15.2[1]

1. Cependant ces chiffres seraient un peu forts par rapport à l'extraction alcoolique, la correction de l'erreur due à la présence du marc n'ayant pas été faite. L'auteur a trouvé qu'il y aurait à multiplier par 0.98, ce qui donnerait un résultat général de 0.30 environ *en moins* par les digestions que par l'extraction alcoolique (?).

L'auteur paraît en effet, par la suite, préférer la méthode par digestion aqueuse à chaud et nous en reparlerons.

Expériences du Dr Wiley sur le dosage direct du sucre dans la canne au moyen de l'alcool.

M. Wiley, chimiste en chef au département de l'agriculture à Washington, a publié dans le *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France* (numéro de juin 1884, p. 154, tome II), une note très intéressante sur le dosage direct du sucre dans la canne.

Il a étudié l'épuisement à l'eau, l'épuisement à l'alcool et la digestion aqueuse à chaud. Nous donnerons dès maintenant les résultats qu'il a obtenus par l'emploi de l'alcool. M. Wiley a essayé :

1° L'épuisement de la rondelle de canne plus ou moins divisée par cinq ébullitions successives ayant une durée de 20 minutes, et en employant à chaque traitement un volume sensiblement égal à celui de la matière ;

2° Même série, mais en opérant dix traitements successifs ;

3° Même série, mais en laissant les rondelles en ébullition au contact de l'alcool durant une heure.

Les résultats ont été détestables dans tous les cas, et en général il y a eu 1.66 de saccharose en moins que la quantité calculée d'après l'analyse indirecte, différence bien supérieure à celle constatée par l'application de la digestion aqueuse à chaud.

L'emploi de l'alcool pour l'analyse de la canne amène également d'autres inconvénients, si bien que M. Wiley n'est nullement partisan de son emploi, au contraire.

Traitement par l'alcool (digestion et épuisement).

Série V. — On a opéré comme avec l'eau, c'est-à-dire par cinq ébullitions successives, puis par dix, et ensuite on a mis bouillir les rondelles dans cinq fois leur volume d'alcool, durant une heure.

On a constaté une différence de 1.66 p. 100 de saccharose.

Résultats moyens. — L'alcool amène également d'autres inconvénients, ce qui a fait complètement rejeter l'emploi de ce véhicule pour l'extraction du sucre des cossettes de cannes, au moins dans le laboratoire de Washington. Nous verrons d'autres essais à Java, tendant aux mêmes conclusions.

Comme nous avons vu que, dans le laboratoire d'essais de Java, on a reconnu que l'extraction alcoolique bien employée donne exactement les mêmes résultats que les méthodes aqueuses, qu'en outre la digestion alcoolique peut fournir des résultats inférieurs à ces deux procédés, que l'extraction alcoolique exige une longue durée pour être certain de l'épuisement et enfin que ce procédé ne permet que quelques dosages dans une journée et réclame une surveillance incessante, nous pouvons conclure que, pour le *dosage direct du sucre cristallisable dans la canne à sucre*, L'ALCOOL DOIT ÊTRE COMPLÈTEMENT REJETÉ. (Même conclusion que pour l'analyse de la betterave.)

B. — Procédés à l'eau.

1° *Extraction aqueuse à froid.*

Ce procédé est applicable à la betterave, à la condition d'avoir une pulpe suffisamment fine et analysable à froid par diffusion instantanée. Alors, au lieu de mettre le poids normal de pulpe avec de l'eau jusqu'à un volume déterminé, on place ce poids normal de pulpe dans un extracteur (Pellet ou autres) et on l'épuise au moyen d'un courant d'eau dont l'écoulement est réglé de telle sorte que le volume de 200 centimètres cubes soit obtenu en 10, 15 ou 20 minutes.

Mais, avec la canne, ce procédé n'est pas utilisable, parce qu'il n'existe pas encore d'appareils permettant d'effectuer la division nécessaire de la canne pour l'application générale des procédés dits à froid, quoiqu'on ait parlé d'avoir de la crème de cannes.

2° *Extraction aqueuse à chaud* (Pellet).

C'est le même procédé que le précédent, mais en employant l'eau chaude.

Cependant, même avec l'eau chaude, cette méthode peut laisser à désirer, suivant la division de canne, division qui, comme nous le verrons, joue un très grand rôle.

Aussi l'extraction aqueuse du sucre à chaud d'un poids de 16gr,20 à 26gr,048, dans un volume de 100 à 200 centimètres cubes, même en prolongeant la durée du contact, n'est-elle pas à conseiller, pas plus au point de vue scientifique qu'au point de vue pratique.

3° *Extraction aqueuse à chaud* (Delville).

Mêmes observations que pour les procédés précédents.

4° *Extraction aqueuse à chaud* (Vivien-Castels).

On met 100 gr. de matière divisée dans un tube spécial disposé comme un extracteur. On remplit le tout d'eau chaude (80° à 85°) et on laisse en contact trois minutes. Au-dessous, se trouve un ballon d'un litre. On reçoit le liquide chargé de sucre, on recommence et on opère ainsi 7, 8 ou 10 fois jusqu'à ce que le litre soit à peu près rempli ; on complète avec un peu de sous-acétate de plomb et, après agitation, on filtre et on polarise. On calcule le sucre pour 100 grammes de cannes.

Ce procédé réclame également une pulpe très divisée et nous doutons que les appareils connus actuellement pour réduire la canne en fins filaments puissent fournir la matière dans un état suffisant de division pour appliquer sans crainte la méthode de M. Vivien.

On peut mettre dans cette catégorie le procédé indiqué par M. O. Castels, publié dans le *Bulletin de la Société des anciens élèves de Gembloux,* 1896.

Voici en quoi consiste ce procédé :

On dispose un réservoir d'eau bouillante dans lequel on prélève l'eau bouillante pour le lessivage d'un poids donné de pulpe. Cette eau arrive par siphon ou des tubulures inférieures à l'extrémité desquelles on a placé soit des pinces de Mohr, soit des robinets réglables à l'effet d'avoir un jet fin et puissant.

L'eau est amenée sur la pulpe de canne (50 gr.), placée dans un tamis reposant sur un entonnoir mis sur un ballon de 2 litres.

L'eau, traversant la couche plus ou moins épaisse, enlève le sucre et, suivant la vitesse avec laquelle on a rempli le ballon de 2 litres contenant toujours 5 à 6 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, la matière est épuisée totalement ou renferme encore un peu de sucre. Tout cela dépend de la division de la matière. Aussitôt qu'il y a des parties grossières, l'épuisement est incertain pour l'un ou l'autre de ces procédés, à moins de procéder par épuisements séparés et avec des volumes de moins en moins grands et d'analyser tous les liquides pour être certain de l'épuisement complet, ce qui est toujours douteux. Un liquide ayant passé à travers une couche de cossettes de cannes divisées peut ne pas contenir de sucre, alors qu'il en reste dans la masse, ce que nous avons vérifié. Cela tient à ce que le sucre facilement enlevable a été entraîné dans les premières eaux de lavage, tandis que le sucre situé au centre des filaments plus ou moins épais ne peut être enlevé qu'avec le temps. C'est alors que le sucre peut être rendu visible en opérant une digestion, ou en exerçant une forte pression sur le marc supposé épuisé. On retrouve du sucre dans le liquide extrait. (Correspondant à 0.1 ou 0.2 pour 100 gr. de cannes.)

5° *Extraction par épuisements successifs à chaud* (Divers).

Ce système a été essayé par divers chimistes et même appliqué couramment dans certaines usines.

Voici d'abord les expériences de M. Wiley.

Dosage direct du sucre dans la canne (procédé du Dr Wiley). — Nous trouvons dans le *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France et des colonies* du mois de juin 1884 (page 154, n° 6, tome II) quelques détails relatifs aux essais faits par le Dr Wiley, chimiste en chef du département de l'agriculture à Washington, pour la détermination directe du sucre dans la canne à sucre, dans le sorgho et dans les bagasses.

M. Wiley a étudié diverses méthodes et voici comment il a conduit ses expériences, ainsi que les bases admises pour les calculs.

On a admis : 1° que la canne à sucre contenait 92 p. 100 environ de jus, soit 8 p. 100 de marc (cannes de la Louisiane);

2° Que le sorgho ne contenait au contraire que 89 p. 100 de jus et 11 p. 100 de marc.

3° Pour l'analyse des jus, on s'est servi d'un petit moulin agissant sur des rondelles obtenues par le passage de 25 à 50 kilogr. de cannes à analyser dans un coupe-cannes ordinaire.

4° La quantité de jus obtenue a été environ de 64 p. 100.

5° Poids variable de cossettes, mais généralement en les traitant par 5 ou 10 fois leur poids d'eau dans différentes conditions.

Durant l'opération, addition d'eau pour maintenir le volume. *Après refroidissement, le contenu du ballon jaugé est complété à un volume ou à un poids donné et soumis à l'examen.*

M. Wiley a essayé ensuite pour chaque série trois méthodes :

a) La méthode optique;

b) La méthode cuprique (Fehling);

c) La méthode au permanganate de potasse. Cette méthode consiste à dissoudre l'oxydule de cuivre au moyen d'alun ferrico-ammoniacal et à déterminer le sulfate ferreux produit par une solution titrée de permanganate de potasse.

Ensuite M. Wiley a essayé plusieurs modes de traitement des rondelles, avec ou sans broyage, et enfin le traitement par l'eau et à l'alcool.

Résultats généraux. Procédés par épuisements successifs. — 1re *série*. — Rondelles bouillies dans 5 fois leur poids d'eau; durée moyenne de l'ébullition, une heure et demie.

Nous donnons seulement un tableau complet pour indiquer en détail les résultats obtenus; pour les autres séries nous ne donnerons que le résumé.

TABLEAU.

Tableau LXIII.

NATURE de l'échantillon.	SACCHAROSE p. 100 gr.	AUTRES SUBSTANCES p. 100 gr.	SACCHAROSE p. 100 gr. de cannes calculés d'après le jus.	AUTRES SUCRES p. 100 gr. de cannes calculés d'après le jus.	DÉFICIT de saccharose.	EXCÉDENT de saccharose.	DÉFICIT d'autres sucres.	EXCÉDENT d'autres sucres.	MÉTHODE D'ANALYSE.
Jus.	10.38	2.41	9.24	»	»	»	»	»	Optique et réductrice.
Rondelles . .	8.68	2.09	»	2.14	0.58	»	0.05	»	Cuivrique.
»	8.33	»	»	»	0.91	»	»	»	Optique.
»	8.43	»	»	»	0.81	»	»	»	»
»	7.78	»	»	»	1.44	»	»	»	»
»	7.35	1.98	»	2.14	1.89	»	0.16	»	Cuivrique.
»	7.29	2.14	»	»	1.95	»	»	»	»
Jus.	9.38	2.24	8.35	»	»	»	»	»	Optique et réductrice.
Rondelles . .	7.07	2.69	»	2.42	1.28	»	0.18	»	Cuivrique.
»	7.40	»	»	»	0.89	»	»	0.27	Permanganate.
»	6.96	2.43	»	»	1.38	»	»	»	Optique.
Jus.	9.69	»	»	»	»	»	»	»	Optique et réductrice.
Rondelles . .	7.69	»	8.68	2.16	1.01	»	»	»	Optique.
»	7.66	»	»	»	1.02	»	»	»	»
»	7.82	2.65	»	»	0.86	»	»	0.49	Permanganate.
»	6.86	2.80	»	»	1.82	»	»	0.64	Cuivrique.
Moyennes. .	»	»	»	»	1.22	»	0.10	0.35	

La moyenne indique donc un déficit de saccharose et souvent une augmentation des autres sucres. Méthode à rejeter.

2e série. — Mêmes conditions; durée de l'ébullition, trois heures au lieu de une heure et demie.

Résultats moyens. — Déficit en saccharose de 1.22 à 1.92. Méthode à rejeter.

3e série. — Rondelles bouillies dans cinq quantités d'eau successives. Chaque quantité un peu supérieure au volume de la cossette. Durée moyenne de l'ébullition, 20 minutes chaque fois.

Résultats moyens. — Perte de 1.29 de saccharose. Méthode également à rejeter.

4e série. — Mêmes conditions, mais en mettant dix fois de l'eau successivement.

Résultats moyens. — Perte de 0.98 de saccharose.

On déduit de ces essais que le traitement des rondelles de cannes par de l'eau bouillante, même en renouvelant dix fois l'addition de l'eau, n'est pas suffisant pour obtenir l'extraction complète du sucre de la cossette. En outre, il y a à craindre que par une durée aussi prolongée il y ait parfois formation de sucre réducteur aux dépens du saccharose. Enfin, il n'y a pas de relation entre le jus extrait de la canne et la richesse directe pour 100 gr., ainsi que cela a été démontré aussi pour la betterave.

Mais, d'après nous, cela doit tenir surtout à la division de la canne, c'est-à-dire à ce que les rondelles étaient trop épaisses. M. Wiley dit bien que dans quelques cas on a essayé le broyage des cossettes au mortier sans avoir constaté d'augmentation dans le pour-cent de sucre.

En effet, si on divise la cossette de cannes en plusieurs morceaux, qu'elle soit déjà mince par elle-même, et ensuite qu'on la passe dans un mortier pour avoir une matière représentant de la grossière pulpe de betterave, on parvient à extraire sensiblement tout le sucre de la canne par des épuisements successifs, surtout en opérant comme suit :

Peser 50 gr. de la matière divisée et bien mélanger, ajouter 150 à 200 centimètres cubes d'eau, faire bouillir et après cinq minutes environ d'ébullition décanter le liquide dans un ballon de 1 litre renfermant 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, remettre de l'eau, et faire bouillir à nouveau 7 à 8 minutes et ainsi de suite, on arrive à faire ainsi 7 à 8 lavages, avec lesquels on a extrait sinon absolument tout le sucre (car il y en a encore des traces visibles à l'alpha-naphtol), mais au moins pratiquement. On refroidit, on complète 1 000 centimètres cubes et on polarise au tube de 500 ou de 400, on calcule le sucre pour 100 gr. de cannes et on applique ensuite le coefficient tel qu'en multipliant le degré observé par ledit coefficient, on trouve de suite la richesse de la canne analysée pour les conditions adoptées (poids 50 gr., volume 1 000 centimètres cubes, tube de 500 millimètres).

C'est un procédé évidemment long, et qui exige une certaine surveillance, mais il peut être appliqué à des essais de contrôle pour l'analyse moyenne des rondelles, à chaque poste si la sucrerie uti-

lise la diffusion. Le résidu de l'extraction sert au dosage du ligneux dans l'échantillon moyen.

Après ces cinq ou six extractions prolongées *sur la cossette divisée convenablement,* il ne reste plus que des traces de sucre visibles seulement pour l'alpha-naphtol et correspondant à 0.02 ou 0.05 de sucre pour 100 gr. de cannes, et quelquefois à 0.12 ou 0.15. On peut opérer sur 100 gr., ou 78, ou 104gr,096 de pulpe.

Sur une partie de cannes riches on a eu ainsi[1] :

Tableau LXIV.

	SUCRE p. 100 gr. de cannes.
1er ballon	8.32
2e —	6.24
3e —	1.69
4e —	0.78
5e —	0.26
6e —	traces
Total . . .	17.29

Si on représente la marche de l'épuisement par une courbe, on a la suivante (*fig. 2*) :

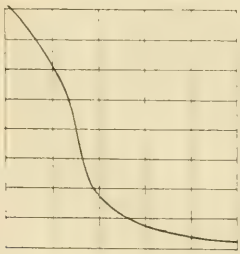


Fig. 2. — Marche de l'épuisement de la cossette de cannes par lessivages successifs à l'eau chaude.

Ce procédé n'est pas très pratique pour un grand nombre d'es-

1. En opérant avec le tube de 500 centimètres cubes — alors on lit directement la richesse — puisqu'on multiplie par 2.5 le résultat et la pesée égale quatre fois plus de matière normale. Mais il faut absolument le 6e lavage pour assurer l'*épuisesement pratique.*

sais et, on le voit, il ressemble beaucoup à celui préconisé par M. Vivien pour l'analyse de la betterave par diffusion, tandis qu'ici on opère par ébullition directe.

L'épuisement par lavages successifs ne peut jamais, du reste, être complet, sinon en pratique, du moins en théorie, et il est facile d'expliquer pourquoi on constate toujours du sucre dans les dernières eaux d'extraction.

Admettons les quantités de matière ci-après :

Pulpe, 100 gr.; richesse, 18 p. 100 de sucre ; eau, 65; eau, 200 gr. ajoutés par chaque lavage; nombre de lavages, 5.

Si on met 200 gr. eau + 65, on dissoudra après 10 minutes dans les meilleures conditions tout le sucre dans 265. La richesse du liquide sera $\frac{18}{265}$ ou 7.5 p. 100 environ.

Admettons qu'il reste chaque fois avec la pulpe les 65 p. 100 d'eau.

Donc, il y aura $\frac{65 + 75}{100} = 4.87$ de sucre pour 265 d'eau, ou 1.85 p. 100.

3e lavage, même calcul, 0.45 p. 100.

4e lavage, même calcul, 0.11 p. 100.

5e lavage, même calcul, 0.025 p. 100.

6e lavage, même calcul, 0.006 p. 100.

On voit donc qu'il faut au moins 6 lavages bien exécutés pour obtenir un liquide ne contenant plus que *0.06* de sucre par litre, très visible avec l'alpha-naphtol.

Si maintenant on peut réduire le volume du liquide restant dans la pulpe après chaque lavage, l'épuisement sera plus rapide, sans être complet, scientifiquement parlant.

On voit, en outre, qu'il faut que la diffusion soit complète après chaque lavage pour que l'eau extérieure corresponde à la même richesse que l'eau située à l'intérieur de la pulpe. En pratique, on a tendance à avoir plus de sucre dans le jus intérieur, ce qui explique que l'on constate en effet encore parfois de 0.1 à 0.2 de sucre par litre dans la dernière eau de lavage et de 0.2 à 0.3 dans l'eau de pression de la cossette épuisée.

La perte ne correspond qu'à 0.05 ou 0.15 de sucre p. 100 gr. de cannes, mais, enfin, si elle n'est pas toujours très visible avec le saccharimètre, elle est très calculable.

La courbe devient celle-ci :

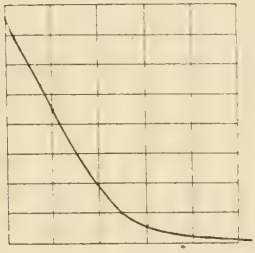


Fig. 3. — Marche de l'épuisement de la cossette de canne par lessivages successifs à l'eau chaude.

Et, suivant le rapport entre la richesse, la quantité d'eau ajoutée, le poids de pulpe employée, elle varie principalement au début, si la durée de l'ébullition n'est pas exactement la même entre chaque extraction.

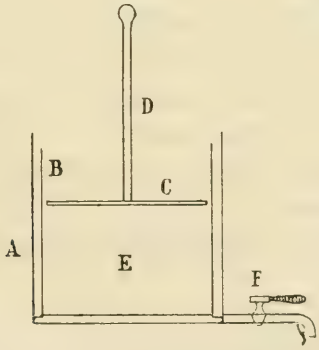


Fig. 4. — Appareil Zamaron pour le dosage direct du sucre dans la canne par épuisements successifs.

A. Réservoir cylindrique en cuivre muni d'un robinet F.
B. Réservoir cylindrique (un peu plus petit que A) en tôle de cuivre perforée, et dans lequel on met 100 gr. de canne divisée. Ce réservoir est porté par un croisillon placé au fond du vase A.
C Plateau perforé muni d'une tige D pour presser la pulpe de cannes quand on ouvre le robinet F.
Le tout est placé sur un support pour être chauffé au gaz, etc. Sous le robinet F on met un ballon de 1 litre.

M. J. Zamaron a décrit un appareil permettant le dosage direct du sucre dans la canne par épuisements successifs à l'eau bouillante.

Cet appareil est construit de manière à faire 5 ou 10 analyses à la fois, et a été disposé heureusement pour éviter les espaces nuisibles afin d'obtenir l'épuisement pratique de la cossette, aussi divisée que possible, avec 6 lavages, pour un volume total de 1 litre.

C'est l'appareil qui, jusqu'ici, nous semble le plus pratique pour opérer le dosage du sucre dans la canne par épuisements. Le marc reste dans le panier intérieur en toile métallique et, après dessiccation, donne le ligneux[1].

« Le dosage direct et exact du sucre dans la canne étant assez délicat à exécuter pour avoir des résultats se rapprochant de la vérité, il est bon de ne suivre qu'une seule et bonne méthode, afin d'avoir des chiffres satisfaisants.

« Le procédé que je vais décrire peut être employé aussi bien pour les analyses de betteraves que pour celles de cannes. Il suffira d'apporter dans la marche de l'analyse toutes les précautions qui y seront indiquées.

« A l'aide d'un seul appareil spécialement construit à cet usage, on pourra faire dix analyses de cannes en une heure et demie.

« Comme la betterave s'obtient dans un état de division plus grande que la canne, il est certain que l'on pourra faire un plus grand nombre d'analyses de betteraves que de cannes, par suite de la vitesse d'extraction du sucre à chaud.

« Pour les analyses de cannes, on devra avoir :

« 1° Un coupe-cannes ;

« 2° Un mortier en fonte (de dimension assez grande) pour diviser la canne ;

« 3° Un appareil pour le dosage direct du sucre dans la canne[2].

« Dans les usines où l'on marche avec la diffusion, on pourra prendre de nombreux échantillons de cossettes (pour la canne), afin d'obtenir à la fin de la journée, ou de la nuit, une moyenne qui, certainement, devra représenter la quantité du sucre contenu dans la canne, pourvu que les échantillons de cossettes soient réguliers,

1. Appareil présenté à l'assemblée générale de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France et des colonies, séance du 12 juillet 1897.

2. La description de cet appareil sera décrite plus loin dans cet article.

afin d'avoir une moyenne aussi exacte que possible de la canne travaillée à l'usine.

« **Préparation de la pulpe de canne qui doit être analysée.** — Les cossettes prélevées aux coupe-cannes de l'usine, ou celles que l'on obtient au laboratoire avec des cannes qui y sont envoyées spécialement, sont broyées très finement dans un mortier en fonte. On doit faire subir à la cossette la plus grande division possible. De cette façon, on obtient une pulpe de canne qui se mélange parfaitement, et s'épuise à chaud avec rapidité.

« La préparation de cette pulpe doit se faire très vivement, afin d'éviter une évaporation d'eau, qui amènerait une augmentation sensible de sucre dans 100 gr. de canne.

« Dès que la pulpe est préparée, on doit avoir soin de la placer dans un récipient muni *d'un couvercle,* afin d'éviter une évaporation d'eau ; ensuite l'on procède aussitôt à la pesée des 100 gr. de matière intimement mélangée.

« Comme l'on obtient, dans les usines de betteraves, la pulpe très divisée, la préparation des échantillons moyens devient plus facile que pour les cannes.

« Cela fait, on procède à l'analyse.

« **Marche à suivre pour avoir l'extraction totale du sucre dans la canne.** — On prélève 100 gr. de pulpe divisée et bien mélangée, et on les introduit dans le panier métallique P de l'appareil à doser le sucre. Cela fait, on épuise la pulpe avec de l'eau bouillante.

« On commence par verser d'abord 200 centimètres cubes d'eau bouillante dans le récipient V de l'appareil qui contient le panier métallique et la pulpe, et l'on fait bouillir cette eau 10 à 12 minutes. Par suite de cette ébullition, une grande partie du sucre de la pulpe se dissout rapidement, et, au bout du temps indiqué ci-dessus, l'on soutire le liquide sucré dans un ballon jaugé A de 1 000 centimètres cubes. Lorsque tout ce liquide sucré est soutiré, on verse une seconde fois 200 centimètres cubes d'eau bouillante sur la pulpe; on laisse le même temps de contact de l'eau sur la canne en faisant bouillir, et l'on procède ensuite au soutirage du liquide sucré.

« Comme l'on doit faire six épuisements successifs pour extraire la totalité du sucre, on ne devra plus ajouter après le second épuisement que *150 centimètres cubes d'eau* bouillante (au lieu de 200 centimètres cubes).

« Au bout du sixième épuisement, on aura un volume de liquide sucré chaud, de 960 centimètres cubes environ, à cause de l'évaporation d'eau produite par l'ébullition.

« Avant de recueillir le jus sucré du premier épuisement, on devra avoir soin d'ajouter 10 ou 15 centimètres cubes de sous-acétate de plomb à 28° Baumé, afin de précipiter les matières organiques et d'éviter l'altération du liquide sucré.

« Lorsque les six épuisements sont terminés, on refroidit le jus sucré, recueilli dans le ballon, à la température de 20° C. environ, ensuite l'on complète le volume à 1000 centimètres cubes; l'on agite le tout et l'on filtre.

« Le liquide filtré est polarisé dans un tube de 400 millimètres.

« Le nombre de degrés lus, multipliés par :

			POIDS normal. — Gr.
0,81	Saccharimètre Laurent	. . . . .	16,20
0,8135	—	—	16,27
1,3024	—	Schmidt et Hœnsch . . .	26,048

= le sucre contenu dans 100 gr. de canne ou de betterave.

« On peut doser le glucose sur le liquide filtré.

« La pulpe, une fois épuisée, est pressée assez fortement dans le panier même, à l'aide du petit pressoir T, pour en extraire le plus d'eau possible, et on la porte ensuite en la laissant dans le panier à l'étuve chauffée à 100-110° pour la dessécher complètement. Lorsque la dessiccation est terminée, on obtient la quantité de ligneux contenu dans la canne pour 100 gr. de matière.

« Cette méthode est rapide et certaine; et l'on arrive facilement à obtenir de très bons résultats.

« Aucune altération ne se produit pendant l'ébullition.

« Depuis 1889 que j'emploie ce mode de dosage du sucre dans la canne, je n'ai jamais eu d'augmentation de glucose pendant l'opéra-

tion, et, pour qu'il y ait interversion de sucre, il faudrait opérer sur des cannes fortement altérées. Exemple, les cannes attaquées par le borer (ver de la canne). Si l'on se trouve en présence de semblables

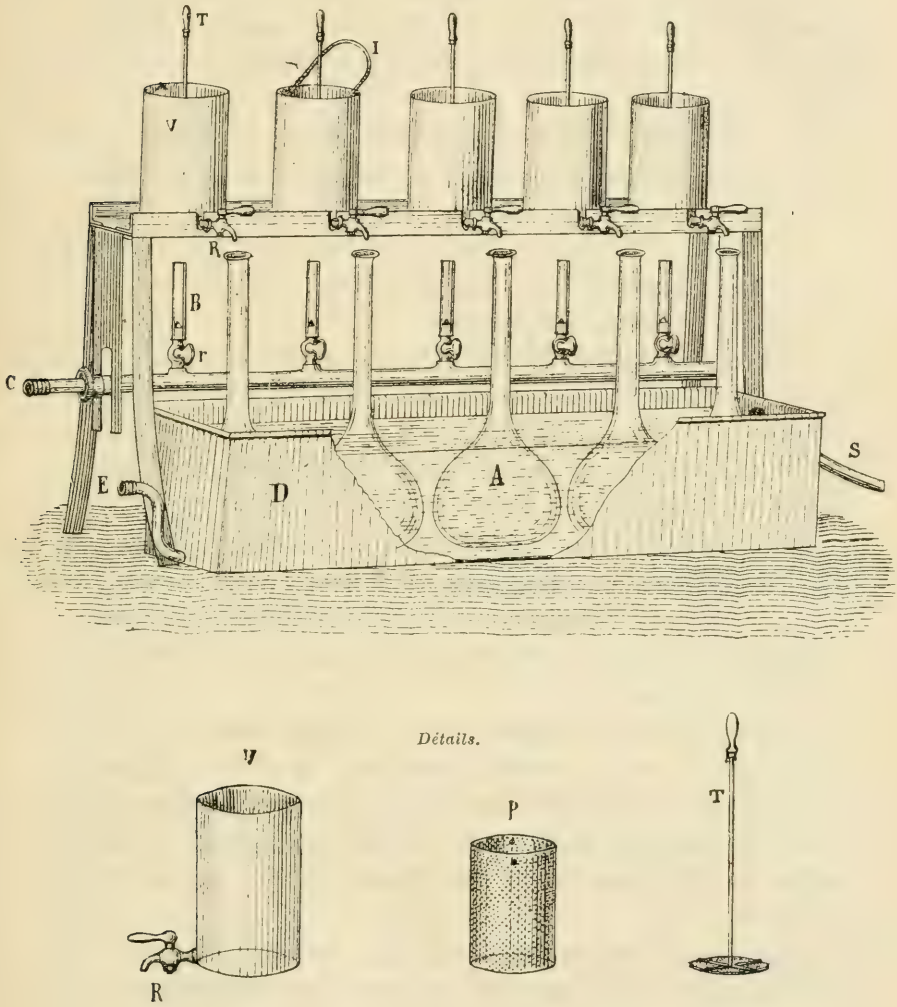


Fig. 5. — Appareil Zamaron pour le dosage direct du sucre dans la canne.

cannes, on n'a qu'à ajouter un peu de chaux ou de baryte pour neutraliser la forte acidité de ces cannes.

« Cette méthode s'applique aussi bien à la betterave qu'à la canne ;

il suffit d'ajouter un peu de chaux pour alcaliniser très légèrement les eaux d'épuisement.

« **Description de l'appareil spécial pour doser le sucre dans la canne et dans la betterave.** — Cet appareil se compose de cinq ou de dix récipients cylindriques V en cuivre, reposant tous sur une table métallique.

« Chaque récipient est muni d'un petit robinet en cuivre R, pour l'écoulement du liquide sucré dans un ballon de 1 000 centimètres cubes A.

« Un panier cylindrique P, destiné à recevoir la pulpe divisée, se trouve dans chaque récipient. Chaque panier a un petit pressoir métallique rond T muni d'une tige.

« Au fond de chaque récipient se trouve un petit croisillon métallique pour éviter le contact du fond du panier avec le fond du récipient.

« Une rampe de cinq ou de dix becs Bunsen B est placée sous les récipients pour chauffer le liquide en contact avec la pulpe.

« Une table mobile se trouve fixée aux pieds de l'appareil pour recevoir cinq ou dix ballons jaugés de 1 000 centimètres cubes. Ces ballons reçoivent directement le liquide sucré de chaque récipient. Des numéros (1 à 10) sont gravés sur les récipients et sur les paniers métalliques.

« Afin de pouvoir compléter le volume de 1 000 centimètres cubes aussitôt les dix analyses terminées, on pourra adapter un récipient D avec courant d'eau froide, dans lequel baigneront les ballons recevant le liquide sucré chaud. Cette petite installation pourra se faire dans chacun des laboratoires qui emploieront cet appareil.

« Comme cet appareil est la réunion de cinq récipients semblables, on pourra, si l'on veut, augmenter ou diminuer à volonté le nombre de récipients.

« On trouvera chez MM. Gallois et Dupont, 37, rue de Dunkerque, à Paris, l'appareil ci-dessus indiqué avec toutes les explications pour son fonctionnement. »

6° *Digestion aqueuse à chaud* (Pellet).

On connaît ce procédé pour la betterave. Il peut être appliqué absolument de même pour l'analyse de la canne. On ne doit modifier que le poids de la canne si on veut faire un volume fixé de 200, 300 ou 500 centimètres cubes, ou modifier le volume définitif si on prend 1 fois, 1 fois 1/2 ou 2 fois 1/2 le poids normal du saccharimètre que l'on emploie pour obtenir un dosage direct à l'aide du tube de 400 ou de 500 millimètres.

Le procédé se résume en ceci : Quel est le volume occupé par la cellulose impure renfermée dans la canne ?

Cette question a été traitée par plusieurs chimistes. M. Wiley conseille d'adopter la densité de 1, donc 1 centimètre cube par gramme de résidu insoluble de la canne. C'est-à-dire que si on pèse 16.20 de matière par 200 centimètres cubes et qu'il y ait 10 p. 100 de cellulose impure, le volume occupé par le résidu serait de $1^{cc},6$, soit $201^{cc},6$. Cette manière de voir nous paraît très applicable et très simple pour la pratique. Nous conseillons donc de l'adopter, quoique, au point de vue scientifique, cela ne soit pas tout à fait exact. Nous avons trouvé des densités de cellulose impure un peu supérieures à 1, et, dans nos calculs, nous adoptions 1.2, ce qui aurait donné $1^{cc},33$ au lieu de $1^{cc},6$ en adoptant la base formulée par le Dr Wiley.

Mais, comme nous le verrons plus loin, le dosage direct du sucre dans la canne ne peut pas servir de base à un contrôle absolument exact par suite de la trop grande variation de richesse de la canne.

Dans le laboratoire de Java, on préfère également la méthode par digestion aqueuse et nous avons donné précédemment les résultats comparatifs avec les méthodes alcooliques.

Pour l'application de la digestion aqueuse à chaud, nous conseillons la pesée du double poids normal et demi dans un ballon de 500 centimètres cubes, de telle sorte que la polarisation dans un tube de 400 millimètres donne directement la richesse.

Si donc le ligneux est de 10 p. 100, le saccharimètre a 16.20 de

poids normal ; cela fera $40^{gr},5$ de matière ou 4.05 de ligneux, soit 504 centimètres cubes.

Si l'on veut rester au volume de 500 centimètres cubes, on devra peser seulement 16.07×2.5 ou $40^{gr},17$. Même calcul pour le saccharimètre allemand.

On peut avoir des ballons de 500 centimètres cubes à col assez large pour l'introduction de la pulpe et de la forme de nos ballons de 200 centimètres cubes pour l'analyse de la betterave en verre spécial résistant aux changements brusques de température.

Utiliser l'acétate de plomb neutralisé au lieu de sous-acétate de plomb et l'ajouter avant le chauffage.

Laisser digérer au bain-marie presque bouillant durant une heure, une fois le ballon chaud.

C'est pourquoi il est bon d'ajouter de suite de l'eau presque bouillante jusqu'à la marque de 500.

Si l'on craint que la pulpe ne vienne en partie flotter au-dessus du liquide, accompagnée de bulles d'air, on peut placer une rondelle de plomb, percée de trous, dans le col du ballon, descendue jusqu'un peu au-dessous du niveau du liquide, comme nous l'avons signalé pour la betterave.

On peut aussi agiter de temps à autre pour chasser l'air émulsionné, etc.

Refroidir, compléter au volume définitif adopté, agiter, filtrer et polariser au tube de 400 à l'aide d'un polarimètre très sensible au vingtième, on a directement la richesse pour 100 gr. de canne. On peut opérer avec le double poids normal dans 200 centimètres cubes s'il s'agit du saccharimètre à $16^{gr},20$, mais avec le simple poids normal s'il s'agit du polarimètre allemand. Le volume de 52 gr. de pulpe de cannes dans 200 centimètres cubes est trop considérable, et si la division n'est pas convenable, le rapport de l'eau à la pulpe est trop faible pour obtenir un rapide épuisement en une heure au bain-marie.

De même, on doit bien faire attention à mettre, dès le début, la presque totalité de l'eau, car l'eau ajoutée ensuite ne fait que diluer le *liquide extérieur* situé autour de la pulpe, mais ne dilue pas celui renfermé dans les cellules mêmes. Donc, le dosage est inférieur à

la réalité. Ce phénomène est très net déjà avec de la betterave et est très accentué avec la pulpe de cannes.

Le docteur Wiley a essayé aussi l'application de la digestion aqueuse à chaud, et nous extrayons de son travail, déjà cité, les notes suivantes :

7° *Digestion aqueuse à chaud* (Wiley).

Les séries 6 et 7 correspondent à des essais faits au moyen de la digestion aqueuse à chaud, en ballon bouché et dans 5 fois le poids d'eau environ, durant une heure (*série 6*) et deux heures (*série 7*).

Tableau LXV.

Série 6. — Résultats moyens (1 heure) :

Déficit de saccharose. . .	0.30	moyenne dans	5 essais.
Excédent de saccharose .	0.52	—	8 —
Déficit d'autres sucres . .	0.16	—	4 —
Excédent d'autres sucres .	0.07	—	1 —

Série 7. — Résultats moyens (2 heures) :

Déficit de saccharose. . .	0.97	—	2 essais.
Excédent de saccharose .	0.69	—	10 —
Déficit d'autres sucres . .	0.19	—	3 —
Excédent d'autres sucres .	0.22	—	1 —

Il résulte de ces essais que ce mode d'analyse semble préférable aux autres et qu'il n'y ait pas lieu de prolonger la durée du chauffage au delà d'une heure.

De l'ensemble des essais ci-dessus, M. Wiley a conclu à la méthode ci-après pour le dosage direct du sucre dans la canne à sucre[1] :

1° Échantillonnage de la canne ;

2° Découpage en rondelles aussi minces que possible par le coupe-cannes ;

3° Mélange des cossettes et prise de l'échantillon ;

---

1. Tout ce que nous disons sur la canne est applicable au sorgho et aux bagasses de cannes, de sorgho, etc.

4° Peser 3 fois le poids normal du saccharimètre que l'on possède et passer le tout dans un ballon portant un bouchon en caoutchouc analogue à celui des bouteilles de bière. Un trait doit indiquer le volume de 305cc,4 si l'on veut analyser le sorgho[1];

5° Mettre au bain-marie bouillant durant une heure après avoir ajouté un peu de sous-acétate de plomb, puis de l'eau jusqu'à la marque à peu près;

6° Faire refroidir, compléter exactement, agiter, filtrer et polariser;

7° Faire deux ou trois analyses du même échantillon et prendre la moyenne;

8° Ajouter au besoin des traces de soude ou de potasse[2];

9° On peut faire le volume de 300 centimètres cubes et modifier le poids de la canne à peser pour tenir compte du volume du marc.

On voit que M. Wiley a beaucoup étudié la question de l'analyse directe de la cossette ou rondelle de la canne et qu'il y a dans son procédé beaucoup de points de ressemblance avec la méthode que nous avons appliquée à l'analyse de la betterave depuis *1883*, c'est-à-dire l'analyse directe de la pulpe en ballons chauffés au bain-marie et dont la description a paru dans le *Bulletin de l'Association des chimistes* du mois d'août 1884. Cela tient à ce que nous avions réservé ce mémoire pour l'assemblée générale du 28 juillet 1884 et dont le compte rendu n'a été imprimé que dans le *Bulletin* du mois suivant. Mais, depuis longtemps, nous avions fait les essais et toutes les recherches relatives aux formes des ballons et à la durée du chauffage, à l'emploi du sous-acétate de plomb, etc.

8° *Digestion aqueuse avec eau chaude* (Divers).

Pour l'analyse de la betterave, on a proposé, dans ces derniers temps, un procédé dit de Herles, et qui consiste à mettre de l'eau chaude sur la pulpe, et à laisser le tout en digestion pendant un

1. Volume différent pour les autres sortes de cannes.

2. Nous avions indiqué également précédemment pour la betterave l'addition de l'eau de chaux. Plus tard on a proposé le carbonate de chaux pour neutraliser l'acidité, si on la croit trop forte.

certain temps. Ceci pour supprimer le bain-marie dans le cas par l'application du procédé à chaud.

Mais ce procédé est dangereux, car si la pulpe n'est pas très divisée, on ne sait pas le temps de contact nécessaire pour chaque essai.

En effet, il est dit que, pour appliquer cette manière d'opérer, on doit éviter la présence de morceaux grossiers, les séparer, etc.

On ne peut pas éviter ces semelles avec la préparation de la pulpe de betteraves par les râpes à dents, par exemple, ou même par les hache-viande.

Aussi, conseillons-nous la *digestion aqueuse à chaud au bain-marie pour l'analyse* de toutes les pulpes qui ne peuvent pas être analysables à froid.

On reconnaît qu'une pulpe est analysable à froid lorsque, essayée par le procédé de diffusion aqueuse instantanée et à froid dans le minimum de temps possible, le résultat correspond à celui obtenu par la méthode à chaud.

Du reste, dès 1887, nous avons essayé cette marche à eau chaude et, ayant eu des résultats incertains, nous l'avons rejetée.

(Voir notre brochure de 1887 sur l'analyse de la betterave par un nouveau procédé simple, rapide et peu coûteux, page 49.)

Par conséquent, nous ne croyons pas devoir la conseiller davantage pour l'analyse de la canne, d'autant plus que, jusqu'ici, la division de la matière première laisse à désirer.

9° *et* 10° *Diffusion aqueuse à froid* (Pellet) *et digestion aqueuse à froid* (modification Kaiser-Leuwenberg).

Jusqu'ici, malheureusement, nous ne pouvons donner aucun résultat sur l'application des procédés d'analyse à froid aussi instantanés que peuvent le permettre les manipulations, car *la pulpe de cannes*, aussi fine qu'on puisse la préparer à l'aide des instruments actuels connus, *n'est pas analysable à froid.*

Néanmoins, il faut espérer qu'on ne tardera pas à avoir des appareils capables de réduire la cossette ou la rondelle de cannes en une bouillie analysable à froid et sans que cela occasionne trop de diffi-

culté, avec un rendement pratique sans dessiccation sensible de la masse triturée.

Car, une fois en possession de cette bouillie ou crême de cossettes de cannes, on peut appliquer immédiatement tous nos procédés d'extraction ou de diffusion aqueuse à froid indiqués pour la betterave.

Il va sans dire que nous avons déjà essayé bien des appareils, tels que râpe cylindrique à taille Keil, hache-viande de divers modèles, aucun n'a donné de bons résultats.

II. — Action des réducteurs sur la lumière polarisée dans l'analyse directe de la canne.

Il faut bien se rappeler, en outre, que le réducteur contenu dans la canne agit en général sur la lumière polarisée, mais que cette action devient presque nulle, ou nulle, s'il y a eu addition de sous-acétate de plomb en quantité sensible en excès.

Pour la pratique, on a donc ainsi le dosage direct sensiblement exact du sucre cristallisable. Mais si la proportion de réducteur augmente à 1 et 2 p. 100 du poids de la canne, la polarisation directe n'est plus exacte.

On doit alors opérer au moyen de l'*acétate de plomb neutre neutralisé par l'acide acétique* pour remplacer le sous-acétate de plomb et procéder à l'inversion Clerget.

Mais cela devient très difficile dans les liquides étendus provenant de l'extraction ou de la digestion de la canne.

On doit alors opérer sur le jus afin de déterminer l'influence du réducteur sur la polarisation et en tenir compte dans le dosage direct.

III. — Résumé. Procédé à employer pour le dosage direct du sucre dans la canne.

De tout ce qui précède, il s'ensuit qu'il faut rejeter l'alcool, parce qu'au point de vue pratique, l'extraction alcoolique exige trop de temps et de soin. Il faut opérer par digestion aqueuse à chaud ou par épuisements successifs.

La canne étant divisée pour obtenir un échantillon moyen et non desséché, on dose le sucre par la méthode de digestion aqueuse à chaud, qui est absolument semblable à celle employée pour la betterave.

On pèse donc 1, 2 ou 3 fois le poids normal dans des ballons de 100, 200 ou 300 centimètres cubes, on y ajoute la valeur de 10 centimètres de sous-acétate de plomb ordinaire du poids de la canne pesée, on ajoute de l'eau jusqu'au trait. Pour éviter que la pulpe ne remonte dans le col par l'air dilaté, mettre un disque de plomb perforé suspendu par un liège, disque ayant à peu près la largeur du col des ballons et 1 à 2 millimètres d'épaisseur.

Chauffer au bain-marie bouillant une heure et agiter de temps en temps. Laisser refroidir, compléter en lavant le disque, agiter, filtrer et polariser, multiplier le résultat par le volume du ballon diminué d'autant de dixièmes de centimètre cube qu'on a pesé de grammes de cossettes et diviser le tout par 100.

Exemple : On a pesé 16.20 dans 100 centimètres cubes, si on trouve 15° de sucre, le résultat devra être multiplié par $\frac{100 - 1.6}{100}$ ou $0.984 = 14.76$.

Si on a pesé 26.048, ce sera $\frac{100 - 2.6}{100}$ ou 0.974.

Si on a pesé 26.048 dans 200 centimètres cubes, le résultat devra être multiplié par $\frac{200 - 2.6}{200} = 0.987$.

Pour un dosage très exact d'un échantillon, rappelons qu'il est indispensable de faire 2 ou 3 essais et de prendre la moyenne.

M. le Dr Krüger a également essayé l'addition de la chaux à la cossette de cannes pour l'analyse par digestion aqueuse à chaud et dans les autres procédés.

Il a employé la valeur de 5 à 10 centimètres cubes de lait de chaux par essai, lait de chaux fait avec 20 gr. de chaux pure et avec 800 centimètres cubes d'eau.

En général, les essais exécutés avec la chaux ont donné un résultat légèrement supérieur à celui fourni par l'analyse sans chaux.

Ce résultat, d'après nous, tient uniquement à la destruction d'une

grande partie du glucose (qui diminue en effet de 40 à 50 p. 100), ce qui réduit l'action sur la lumière polarisée et probablement parce que cet alcali réagit d'abord sur le lévulose.

Tableau LXVI.

EXTRACTION			
sans chaux.		avec chaux.	
Sucre.	Glucose.	Sucre.	Glucose.
—	—	—	—
15.00	0.590	»	»
»	»	15.10	0.333
14.85	0.792	15.10	0.319
14.93	0.691	15.10	0.326

Lorsqu'on opère par digestion, les différences peuvent être plus sensibles si la proportion de glucose détruite est plus notable.

	Sans chaux.		Avec chaux.	
	Sucre.	Glucose.	Sucre.	Glucose.
	—	—	—	—
Moyennes.	14.97	0.611	15.33	0.226

Dosage par épuisements successifs.

On pèse 48.6 ou 52.048 de cannes, on met 150 à 200 centimètres cubes d'eau, on y ajoute une trace de sous-acétate de plomb, on fait bouillir 10 minutes et on décante dans un ballon de 1 litre contenant 4 à 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb. On ajoute encore 150 à 200 centimètres cubes d'eau, ébullition 10 à 15 minutes, et ainsi de suite jusqu'à ce que le litre soit complet, c'est-à-dire après avoir fait 6 extractions.

Lorsque l'opération est terminée, on refroidit le litre et on complète à 1 000 centimètres cubes, on polarise au tube de 400 et on calcule le sucre d'après un coefficient calculé à l'avance.

Soit 52.096 dans 1 litre, tube de 400 :

1° Le résultat doit être multiplié par 5 ;

2° — — divisé par 2.

En résumé, les divisions trouvées au saccharimètre doivent être

multipliées par 2.5 pour avoir le résultat p. 100, ou bien on emploie l'appareil Zamaron, que nous avons décrit, permettant d'opérer sur 100 gr. de matière.

IV. — Des appareils servant à la préparation de l'échantillon moyen de cannes destiné au dosage direct du sucre.

Nous supposons deux cas : le 1er, travail par les moulins ; 2e cas, par la diffusion.

Dans le premier cas, lorsqu'on ne possède que les moulins, on doit analyser des échantillons de cannes entières prélevées plus ou moins fréquemment et en nombre plus ou moins élevé durant le travail, s'il s'agit du contrôle. On se trouve dans les mêmes conditions si on doit procéder à des analyses de cannes composant l'échantillon d'un champ ou d'une fourniture quelconque.

Le nombre de cannes, dans les deux cas, est toujours forcément considérable si l'on veut avoir une analyse, sinon absolument exacte, du moins se rapprochant de la vérité. On peut donc avoir 20, 30, 40 ou 100 cannes à analyser et ce répété 2, 3, 10 ou 50 fois dans une journée.

Or, il n'y a pas d'autre moyen que de passer tous ces échantillons à un coupe-cannes de laboratoire, coupant plusieurs cannes à la fois et possédant plusieurs couteaux pour que l'opération ne dure pas trop longtemps.

Nous avons vu que M. Wiley, dès 1884, employait le coupe-cannes pour réduire en rondelles 25 à 50 kilogr. de cannes assez rapidement; qu'à Java, on avait le coupe-cannes à 5 couteaux, réduisant plusieurs kilogrammes de cannes en rondelles en 10 minutes. On peut avoir des coupe-cannes de divers modèles, soit disposés absolument comme ceux d'une sucrerie ayant la diffusion, mais d'un plus petit diamètre et à plateau horizontal, soit un coupe-cannes genre *hache-paille,* d'un débit déjà assez considérable, à plateau vertical.

L'appareil de MM. Gallois et Dupont, spécialement construit à cet effet, permet de réduire en cossettes un certain poids de cannes en le manœuvrant à la main. Mû par courroie, il pourrait débiter da-

vantage, mais il faudrait un modèle plus grand, plus fort, pour obtenir un échantillon moyen de 15 à 20 cannes en un temps relativement court. Car ce coupe-cannes ne peut agir que sur une seule canne à la fois. Naturellement, l'installation doit être complétée par une disposition spéciale en vue de recevoir la cossette en un réservoir fermé.

Une fois la cossette produite, il s'agit d'opérer un mélange pour ainsi dire parfait, sur lequel on prélève 1 kilogr. de cossettes qu'on suppose représenter la moyenne. Ces cossettes, si elles sont trop grossières, peuvent être divisées encore rapidement au mortier, le tout mélangé, et, sur ce dernier mélange, prendre les poids de matière nécessaire pour l'analyse.

Quel que soit le soin apporté dans la préparation de cet échantillon définitif, on ne peut assurer qu'il représente bien exactement la moyenne. Et, d'autre part, si on analyse 2, 3 ou 4 fois le même échantillon, on trouve trois résultats différents. Les différences extrêmes sont faibles parfois, ou quelquefois assez fortes. Cela dépend précisément du degré de division de la masse.

Si on a en résumé de la cossette grossièrement divisée, il est évident qu'en pesant 16.20 ou moins de 50 gr. environ de matière, l'homogénéité de la masse n'est pas suffisante pour qu'il n'y ait pas d'écart entre les 2 ou 3 résultats.

Si, au contraire, on s'est donné la peine de passer les cossettes déjà divisées au mortier, ou au hachoir, de couper aux ciseaux les fibres trop longues, en un mot d'avoir une matière analogue à de la grosse pulpe de betterave hachée, alors les résultats pourront être peu éloignés les uns des autres; mais il y a une chose à craindre, c'est que toutes ces manipulations exigeant beaucoup de temps et se faisant souvent par une température assez élevée, il ne se produise (et elle se produit) une évaporation très sensible pouvant être de 2 et 3 p. 100, ce qui de suite peut amener un écart de 0.25 à 0.50 sur le résultat de l'analyse directe.

Lorsque l'usine possède la diffusion, pour le contrôle on peut évidemment préparer de suite un échantillon moyen avec les rondelles ou cossettes prélevées au diffuseur et prendre les dispositions en conséquence pour éviter la dessiccation, etc.

Mais, même dans ces usines, on a intérêt parfois à analyser des échantillons de cannes avant leur passage au coupe-cannes, analyse de cannes venues par barques, wagons, etc., ou prélevées sur des charges.

On se trouve donc dans le cas de l'usine travaillant par les moulins.

Par conséquent, on doit utiliser soit le coupe-cannes industriel, soit celui de laboratoire, suivant l'importance des échantillons.

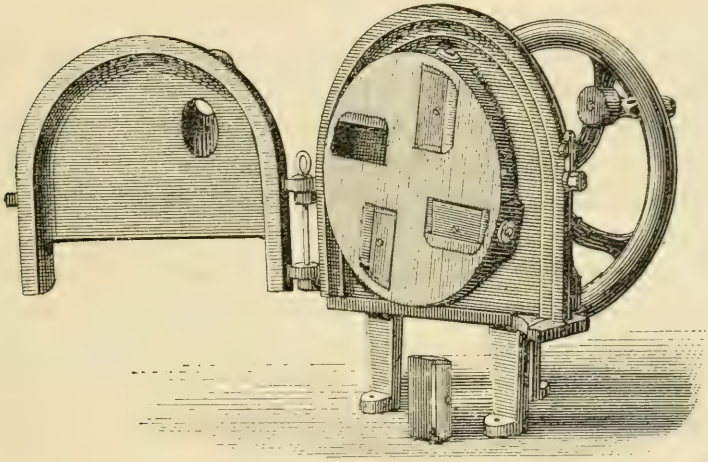


Fig. 6. — Coupe-cannes Gallois et Dupont.

Il y a bien un appareil qui est quelquefois employé dans certains laboratoires de sucrerie de cannes.

C'est un appareil analogue à celui qu'utilisent les marchands de comestibles pour débiter le saucisson en tranches minces régulières et suivant une inclinaison déterminée. Il y a de ces machines divers modèles, marchant à la main généralement (qu'on peut faire transformer pour marcher mécaniquement), mais encore on ne peut opérer que sur une canne à la fois.

Comme chaque tranche représente une rondelle de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, si on a une canne de $1^m,20$ à $1^m,50$, cela représente 400 à 800 coupes par canne, et si on doit passer 20 cannes, on voit que l'on peut avoir 15 000 à 20 000 coupes à exécuter par

échantillon. A raison de 200 à 250 coupes par minute, cela représente une heure et demie à deux heures pour confectionner un seul échantillon.

Et ensuite, cela n'empêche pas la préparation de l'échantillon définitif après le mélange de toute la cossette produite, pour avoir la masse plus divisée sur laquelle on prélèvera les poids de pulpe à peser.

Appareils divers.

En sucrerie de betteraves on se sert de râpes et de hache-viande.

Nous avons essayé le râpage de la canne en nous servant d'une râpe cylindrique, construite spécialement en acier et taillée à peu près comme le disque Keil de notre râpe conique pour l'application de nos procédés aqueux à chaud et à froid pour l'analyse directe de la betterave.

Mais le résultat n'a pas répondu à notre attente, et nous avons dû renoncer à cette application. On fait peu de travail et il y a une perte considérable par évaporation. Les mêmes résultats ont été observés à Java.

Puis nous avons essayé le hache-viande, soit à hélice, soit à couteaux, mais sans plus de succès.

Avions-nous des outils défectueux? Nous ne le pensons pas. C'est pourquoi nous avons été très surpris de lire, dans un article de M. H. Pohlmam, publié par le *Centralblatt für die Zuckerindustrie* de Welt, du 9 janvier 1897, et traduit par notre collègue B. Mittelmann (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie* de mars 1897), l'application du *hache-viande* pour produire de la CRÈME *de bagasse*.

Nous avons aussi essayé l'application du hache-viande à la division de la bagasse de diffusion ou de moulin sans aucun succès. La matière est trop fibreuse d'abord et pas assez résistante, par suite de la longueur des fibres, pour être divisée par un semblable appareil.

Aussi, avons-nous demandé des explications à cet égard, car si véritablement on peut obtenir de la *crème de bagasse*, il n'y aura aucune difficulté pour obtenir la *crème de cannes* et alors l'*analyse directe de la canne* sera bien simplifiée, puisque cette crème, nous

n'en doutons pas, pourra être analysée probablement à froid, ou alors par une digestion très rapide au bain-marie.

Enfin la préparation de la crème aura en outre pour résultat la confection d'un échantillon moyen irréprochable.

Nous attendons les renseignements demandés, nous donnant la description de ce hache-viande, sa force, etc., et les résultats obtenus.

Dans tous les cas on peut réduire la quantité de masse à couper et le temps nécessaire à la coupe totale, en divisant d'abord toutes les cannes en deux parties suivant la longueur.

Cela est facile : on divise d'abord la canne en 2, 3 ou 4 tronçons suivant la hauteur, puis chaque tronçon est coupé suivant la longueur et par le centre ; on met de côté seulement un demi de chaque tronçon, pour le passage au coupe-cannes.

On peut donc rassembler deux demi-cannes pour en former une qu'on passe au coupe-cannes à orifice unique.

Cette division en deux parties n'a pas grand avantage si on possède un coupe-cannes, pouvant réduire en cossettes 20, 30 ou 50 kilogr. de cannes en quelques instants.

Nous avons fait des essais démontrant que la richesse obtenue de chaque moitié d'un certain nombre de cannes était sensiblement égale.

V. — Le dosage direct du sucre dans la canne n'est pas à conseiller pour le contrôle journalier de la fabrication.

On voit d'après ce qui précède combien il faut prendre de précaution, pour obtenir un échantillon moyen de la canne d'abord, et ensuite les difficultés à vaincre pour éviter l'évaporation de la masse durant la préparation. Comme, d'autre part, les appareils diviseurs connus jusqu'ici ne permettent pas l'analyse de la pulpe à froid aussi rapide que pour la betterave, et enfin la différence considérable de richesse existant entre la canne la plus riche (partie inférieure), et la canne la moins riche (partie supérieure), il s'ensuit que dans les fabriques où l'on travaille par les moulins on ne peut pas espérer avoir un échantillon de cannes moyen représentant véritablement la richesse exacte des cannes travaillées. C'est aussi l'avis de quelques

chimistes qui ont beaucoup travaillé la question du contrôle chimique des sucreries de cannes, notamment de L. Biard, qui a publié de remarquables mémoires à ce sujet.

D'autres, au contraire, pensent que l'analyse directe est préférable ; nous donnerons plus loin notre manière de voir et nos conclusions basées sur la pratique.

Si on travaille par la diffusion, la difficulté est déjà moins grande, et en répétant des essais sur des échantillons exécutés après chaque heure sur une moyenne de cossettes fraîches prélevées sur chaque diffuseur comme en sucrerie de betteraves, on parvient à avoir des résultats beaucoup plus sérieux comme nous le verrons.

Mais il y a encore une autre question qui est très importante. C'est de savoir la quantité de *sucre total*, entré à la diffusion ou par les moulins, rapportée au poids de la canne pesée.

En France, par exemple, la betterave achetée avec tare est mise dans les lavoirs et propre elle est pesée. Donc, à la diffusion il entre bien de suite 100 kilogr. de betteraves, dont l'échantillon bien prélévé donne la quantité de sucre total mis dans les diffuseurs.

Mais en sucrerie de cannes, on ne lave rien. La canne est pesée et envoyée au travail par les moulins ou par la diffusion. Les wagons, les voitures, les charges quelconques de cannes une fois pesées n'entrent pas de suite dans l'usine. On pèse à l'avance pour la nuit. Malgré toutes les précautions prises pour le nettoyage de la canne, il arrive des débris de feuilles, de la terre, des bouts blancs, etc.

De telle sorte que si on repassait la canne à l'état de cossettes avant l'entrée aux diffuseurs ou à l'état de cannes avant le passage au moulin, il y aurait une perte sensible sans compter la canne mangée, la canne écrasée plus ou moins dans les entraîneurs, etc., et ayant perdu une grande partie de son jus.

Enfin, la canne ayant séjourné à l'air plus ou moins longtemps perd une partie de son poids, surtout sous l'action du vent et du soleil.

On a parfois constaté que tout cela représentait 2.5 à 3 p. 100, et dans d'autres cas seulement, 1 à 1.5, ce qui est toujours très sensible à la fin de la campagne et influence le rendement, rapporté à 100 kilogr. de cannes pesées. Évidemment, la perte en poids correspond à une augmentation de richesse qu'on applique à un

poids trop fort de matière première, mais la canne mangée, écrasée, les pertes en terre et en feuilles, etc., constituent une perte réelle calculée en cannes.

Si donc l'analyse directe de la canne au moment où on la travaille par la diffusion, peut donner un renseignement, ce n'est pas suffisant pour le contrôle définitif, et il faut alors procéder à une série de déterminations pour obtenir ce qui est le plus important, l'analyse de la canne rapportée à *100 kilogr. de cannes pesées.*

Nous arrivons donc à faire un contrôle rapide de la qualité de la canne par la méthode indirecte, suffisamment exact pour la pratique courante et vérifié ou modifié, chaque semaine, par le calcul de la richesse exacte de la canne pesée au moyen de la détermination totale du sucre contenu dans le jus et dans les résidus.

C'est ce que nous étudierons dans un chapitre spécial.

Mais avant, il est indispensable de montrer la variation de la richesse de la canne, la variation de la composition du jus suivant la pression, etc., ce que nous ferons dans la 5e partie.

Du reste, on peut encore comprendre la difficulté de l'analyse directe par la variation de la richesse du jus des moulins.

Si l'on prend des échantillons avant le moulin, c'est encore la même chose : on constate à chaque instant des variations de richesse de la canne. Dans la même journée, on peut trouver des cannes ayant 15 p. 100 de sucre, une pureté de 88 à 89, 1 à 2 de glucose p. 100 de sucre et ensuite un échantillon n'ayant que 9 à 10 p. 100 de sucre, 77 à 80 de pureté, et 8 à 12 de glucose p. 100 de sucre.

Il s'ensuit que, si l'on veut connaître la moyenne de la canne travaillée, il faut prendre régulièrement des échantillons, et beaucoup de fois durant chaque poste. Les échantillons doivent comporter au moins 20 cannes tout venant et, d'après nos essais, pour suivre exactement la qualité de la canne, il faudrait au moins 4 analyses par heure.

Ce qui n'est pas possible avec les instruments que l'on possède actuellement pour diviser la canne et opérer par analyse directe sur un échantillon *n'ayant pas perdu de poids* depuis le moment où on découpe les cannes en cossettes jusqu'au moment où on pèse la pulpe pour l'analyse ; tandis que l'analyse indirecte peut permettre

de suivre ce nombre d'analyses. Lorsqu'on a la diffusion, alors c'est encore plus simple. On prélève à chaque diffuseur un échantillon de 4 à 5 kilogr. de cossettes placées dans des vases ou paniers ou couffins se fermant à peu près.

Après une heure, on mélange tous les échantillons mis de côté et on prépare un échantillon de jus moyen, etc., on n'a donc qu'une analyse par heure et même en conservant le jus on n'a qu'une analyse de 12 heures; nous y reviendrons.

Pour les analyses de cannes entières destinées à faire connaître la richesse moyenne, il suffit de mettre également du jus de chaque essai de côté pour n'avoir qu'une analyse par 12 heures.

Enfin, on peut prélever chaque 5 minutes un volume égal du jus des moulins pour obtenir une moyenne par 12 heures, en conservant les jus au moyen du bichlorure de mercure ; nous en reparlerons.

Mais alors se pose une question : Comment passera-t-on de la richesse du jus à la richesse de la canne ?

C'est ce que nous examinerons dans le chapitre n° 6.

VI. — De l'analyse indirecte.

La détermination de la richesse en sucre de la *canne travaillée* nous paraît jusqu'ici devoir être établie indirectement.

C'est-à-dire en connaissant le volume et la richesse du jus extrait et la perte en sucre dans les cossettes (si on procède à l'extraction du jus par la diffusion), ou dans la bagasse, si on extrait le jus à l'aide des moulins avec plus ou moins de repressions, avec ou sans eau, à froid ou à chaud.

Il est évident qu'on doit connaître le poids de la bagasse produite, celui de la cossette est très facile à calculer.

Quant à l'échantillonnage de la bagasse pour le dosage du sucre perdu, il y a encore là quelques difficultés, et nous conseillons de faire des échantillons moyens à plusieurs reprises dans la journée et l'analyse du résidu par l'extraction aqueuse à chaud et directe au moyen de l'appareil Zamaron, en opérant sur 100 gr. de matière.

Au besoin, dans le liquide neutraliser à peu près exactement l'aci-

dité de la bagasse par une trace de chaux, ou mettre du sous-acétate de plomb.

Pour le mesurage des volumes de jus, les appareils utilisés en sucrerie de betteraves conviennent parfaitement, ainsi que tous les appareils de contrôle.

Quant à l'échantillonnage moyen du jus, c'est encore ce qui se

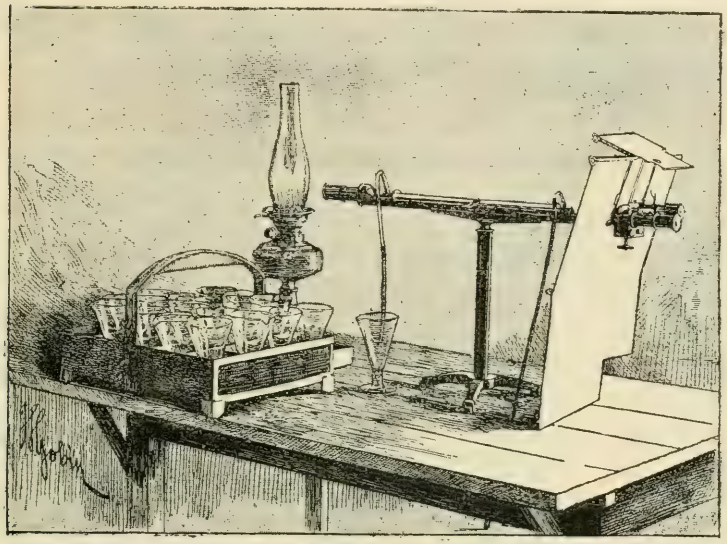


FIG. 7. — Tube continu de Pellet et panier à cases pour l'examen polarimétrique rapide des liquides sucrés.

fait en sucrerie de betteraves, et ce qui est le plus pratique pour la sucrerie de cannes.

Pour le jus on prélève 5 ou 10 centimètres cubes à chaque mesureur, ou à chaque chaudière à éliminer ou à déféquer. Le volume extrait est mis dans un flacon avec $0^{gr},1$ de bichlorure de mercure (solide).

Dans un autre flacon, pour vérifier le sucre au moins, on met 50 centimètres cubes de sous-acétate neutre de plomb. A chaque addition de jus on a soin d'agiter parfaitement.

Après 12 heures, on analyse chaque jus. Pour celui avec l'acétate de plomb, on note le volume total pour tenir compte du volume du sel plombique ajouté dans le calcul de la richesse.

Le résultat est parfaitement moyen et proportionnel et les résultats, sauf de rares exceptions, sont parfaitement d'accord dans la limite des erreurs possibles en pratique.

Pour l'analyse rapide de tous les échantillons de jus de cannes, liquides sucrés, il est indispensable d'avoir une installation spéciale avec notre *tube continu,* qui permet de polariser exactement 5, 6 ou 10 fois à la minute. Toutes les liqueurs à examiner sont placées dans des verres mis par ordre dans un panier à cases. On procède par série de 12 ou de 16 échantillons (*fig.* 7).

Moulins à cannes de laboratoire.

Il y a divers modèles.

On connaît depuis longtemps le moulin employé dans la plupart

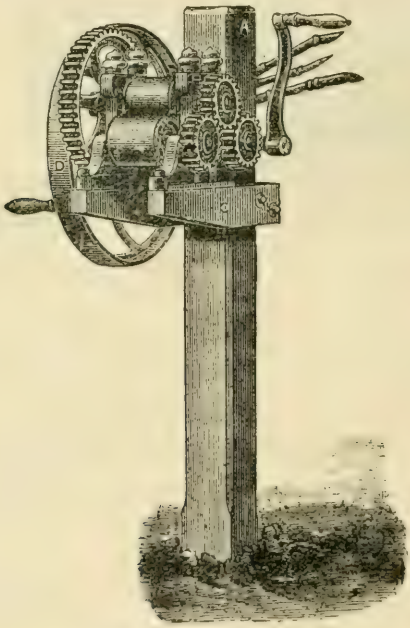


Fig. 8. — Moulin à cannes de laboratoire.

des laboratoires des fabriques de sucre de cannes et dont nous donnons la figure ci-dessus.

Puis on a également utilisé des moulins analogues aux cylindres à laminer, en rayant les cylindres seulement pour la facilité du passage des cannes (*fig. 9*).

Enfin, ayant le coupe-cannes Gallois et Dupont ou des cossettes préparées pour obtenir du jus, on peut utiliser les presses ordinaires employées en sucrerie de betteraves.

Seulement les presses simples et de petite dimension ne peuvent

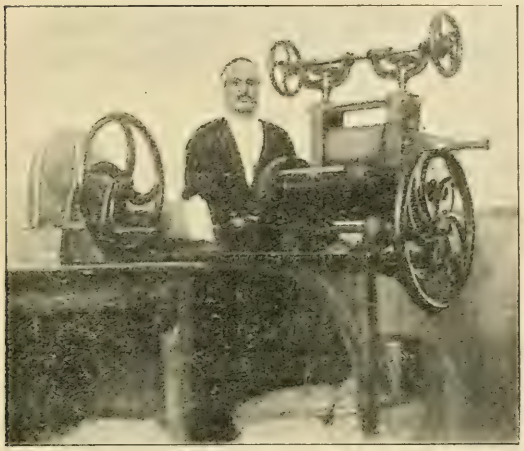


Fig. 9.

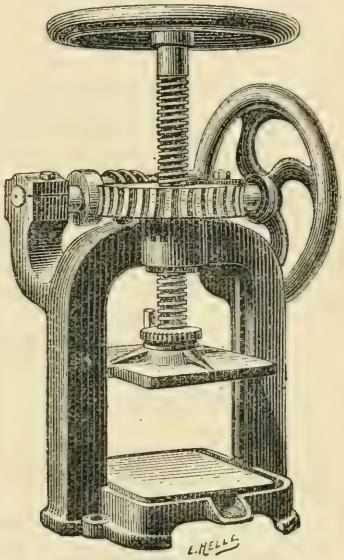


Fig. 10.

servir. Il faut avoir la presse à double vis de Gallois et Dupont, appareil très résistant, et qui permet d'obtenir 1 à 2 kilogr. de cossettes, presque autant de jus que par les moulins (*fig. 10*).

Enfin il y a les presses dites stérhydrauliques, qui sont disposées pour obtenir de très fortes pressions.

Naturellement, quels que soient le moulin et la presse employés, le rendement en jus sera d'autant plus fort que la cossette sera divisée plus finement.

CINQUIÈME PARTIE

COMPOSITION DU JUS DE LA CANNE SUIVANT LE DEGRÉ DE PRESSION EXERCÉE

Lorsqu'on soumet de la canne entière ou coupée en deux parties égales à l'action d'un moulin, le jus obtenu a-t-il à tous les instants de la pression la même richesse en sucre ou la même composition générale ?

Nous pouvons répondre de suite : Non.

Le jus extrait le premier est généralement plus riche et plus pur.

Nous allons résumer les essais nombreux qui ont été faits à cet égard.

1° *Résultats du Dr Icery.*

On trouve déjà des essais relatifs à cette question dans la remarquable brochure du Dr Icery qui donne, à la page 29, les chiffres ci-après :

Tableau LXVII.

	SUCRE par litre de vesou.	
	a.	*b.*
1re pression.	21.4	21.3
2e — .	20.45	20.1

2° *Résultats de M. P. Bonâme.*

M. P. Bonâme a donné de nombreux exemples (page 247 de son ouvrage sur la culture de la canne à sucre).

Tableau LXVIII.

	VESOU extrait de 100 kilogr. de cannes. *a.*	SUCRE p. 100 cc. de jus. *b.*	GLUCOSE p. 100 cc. de jus. *c.*	MATIÈRES organiques p. 100 gr. de sucre. *d.*
1re pression .	»	17.01	1.36	3.7
2e — .	»	16.75	1.36	6.1
1re — .	62.40	18.60	0.63	1.2
2e — .	9.10	17.98	0.62	2.7
1re — .	55.00	19.00	»	3.1
2e — .	18.00	18.50	»	4.3
3e — .	6.00	17.90	»	5.2
1re — .	28.00	15.06	1.46	»
2e — .	26.00	14.90	1.44	»
3e — .	10.00	14.90	1.44	»
4e — .	3.00	14.48	1.44	»

3° *Résultats du Dr Krüger.*

Le Dr W. Krüger a publié un mémoire très complet sur cette question dans le livre n° 2 du compte rendu des essais de la station de West-Java (Kagok-Tegal, Java) publié en 1896.

Extrayons deux ou trois de ces essais qui sont intéressants au point de vue scientifique, mais ne correspondent pas tout à fait à ce qu'on a besoin de connaître en pratique, où l'on procède à l'extraction du jus des cannes en extrayant d'abord la plus grande proportion de jus comme 1re pression et une faible quantité comme 2e.

Tableau LXIX.

	JUS obtenu de 1 kilogr. de cossettes de cannes.	PROPORTION de jus extrait p. 100 gr. de cannes.	SUCRE p. 100 gr. de jus.	PURETÉ.	CENDRES.
1°	200	21.81	19.90	92.26	0.339
	400	43.57	19.50	92.55	0.333
2°	100	10.99	21.00	89.36	0.470
	350	38.42	20.75	89.65	0.450
	600	65.73	19.41	88.23	0.580
3°	100	10.62	12.53	81.90	0.300
	200	21.24	12.56	82.60	0.290
	300	31.85	12.50	83.30	0.280
	400	42.46	12.42	82.80	0.270
	500	53.06	12.15	82.70	0.250
	600	63.62	11.59	84.00	0.230
	700	74.00	11.03	82.30	0.260

4° *Résultats de L. Biard.*

Dans le *Bulletin n° 1 de l'Association des chimistes* (juillet 1888), M. L. Biard a publié un article très intéressant sur l'influence de la pression sur la composition du vesou.

Tableau LXX. — Composition moyenne des deux jus obtenus en fabrique.

	NOMBRE d'analyses.	DENSITÉ à 15°.	SUCRE p. 100 cc.	GLUCOSE p. 100 cc.	PURETÉ.	GLUCOSE p. 100 gr. de sucre.
	—	—	—	—	—	—
Jus de 1re pression.	103	1 071.4	16.45	0.73	88.8	4.44
— 2e —	103	1 070.6	15.60	0.70	84.8	4.49

L. Biard a examiné le jus de 3e et de 4e pression et a constaté que la densité et la richesse en sucre diminuaient avec le nombre de pressions.

C'est pourquoi, ce chimiste avait conclu, comme d'autres collègues du reste, que la richesse de la canne calculée d'après l'analyse du jus extrait par pression et la quantité de marc dosée est toujours exagérée, le jus restant dans la bagasse étant moins riche que celui extrait.

Voir également les essais de L. Biard sur la même question (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie,* numéro de juin 1891) et d'après lesquels le jus de 2e pression a été en moyenne de 1 p. 100 moins riche en sucre que le vesou de 1re pression et cela pour quatre campagnes entières sensiblement.

Cette différence de richesse influe sur celle du jus moyen d'environ 0.25 p. 100, par suite de la proportion des deux sortes de jus mélangés.

5° *Résultats de H. Pellet.*

Nous avons trouvé de notre côté :

Tableau LXXI.

	DENSITÉ.	SUCRE p. 100 cc.	GLUCOSE p. 100 cc.	GLUCOSE p. 100 gr. de sucre.	PURETÉ.	CENDRES.	QUOTIENT salin.
	—	—	—	—	—	—	—
Jus de 1re pression.	1 074.5	17.32	0.36	2.10	89.2	0.54	32.0
Jus de 2e — .	1 070.0	15.87	0.35	2.30	87.2	0.75	21.2
Jus de repression après imbibition .	1 016.0	3.56	0.12	3.30	85.5	0.20	20.8

Tableau LXXII.

	DENSITÉ.	SUCRE p. 100 c c. de jus.	GLUCOSE p. 100 c c. de jus.	GLUCOSE p. 100 gr. de sucre.	PURETÉ.
	—	—	—	—	—
Jus de 1re pression.	1 061.7	13.7	1.28	9.33	85.3
— 2e —	1 060.0	13.3	1.35	10.60	83.2

Tableau LXXIII. — Cannes coupées depuis plusieurs jours et altérées.

	DENSITÉ.	SUCRE p. 100 gr. de jus.	GLUCOSE p. 100 cc. de jus.	GLUCOSE p. 100 gr. de sucre.	PURETÉ.
	—	—	—	—	—
Jus de 1re pression.	1 068	13.39	2.07	15.46	74.6
— 2e —	1 069	13.21	2.25	17.03	72.7

Nous avons eu encore les résultats ci-après :

Tableau LXXIV.

		DENSITÉ.	SUCRE p. 100 cc. de jus.	GLUCOSE p. 100 gr. de sucre.	PURETÉ du jus.
		—	—	—	—
1.	1re pression .	1 066.7	14.39	5.49	81.65
	2e — .	1 065.8	13.83	5.93	79.55
	3e — [1].	»	»	»	»
2.	1re — .	1 066.0	13.92	9.19	80.10
	2e — .	1 066.0	13.78	9.29	79.30
	3e — .	1 065.5	13.60	8.97	78.50

1. Pas de jus obtenu.

6° *Essais de M. Drœshout.*

M. P. Drœshout a donné quelques résultats d'analyses sur les jus de diverses pressions de la canne à Cuba et a obtenu les chiffres ci-après, en opérant sur des produits industriels. (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie,* numéro de janvier 1895.)

Tableau LXXV.

	SUCRE p. 100 gr. de jus.	SUCRES réducteurs.	NON-SUCRE.	CENDRES.	PURETÉ.	VALEUR proportionnelle.
	—	—	—	—	—	—
1re pression.	18.58	1.10	2.42	0.225	84.30	14.50
2e —	16.90	1.10	2.90	0.234	81.70	12.70
3e —	10.50	1.85	4.50	0.345	70.00	7.35

SIXIÈME PARTIE

I. — Quel est le coefficient à appliquer pour passer de la richesse du jus de la canne pressée à la richesse de la canne : 1° analysée ; 2° travaillée ?

Il faut considérer deux cas :

Premier cas. — Étant donné un échantillon de cannes et le jus obtenu, calculer la richesse de la canne pour 100 kilogr., connaissant l'analyse du jus.

Deuxième cas. — Connaissant la richesse en sucre d'un jus fourni par un grand nombre d'échantillons moyens journaliers, calculer la richesse de la canne pesée à l'entrée à la fabrique.

Ce sont deux questions bien distinctes.

Examinons la première question.

Résultats de MM. L. Biard, E Giesbers, H. Pellet et divers..

On sait, d'après ce que nous avons dit sur la qualité du jus obtenu par pression, que le jus de 1re pression est toujours sensiblement plus riche et plus pur que le jus de 2e pression et ainsi de suite.

Par conséquent, le jus extrait par pression ne représente pas la moyenne du jus de la canne.

Si donc on a dosé le ligneux, soit 10 p. 100, les 90 gr. de jus contenus dans la canne ne sont pas de même richesse que les 60.55 ou 68 p. 100 de jus extraits par la pression.

Il en résulte que si on multiplie la richesse pour 100 gr. du jus recueilli par la quantité de jus déduite du dosage du ligneux, on obtient une richesse de la canne trop élevée.

C'est un fait bien établi par un grand nombre de nos collègues : L. Biard, Giesbers, etc.

Aussi, les uns ont-ils proposé un coefficient différent de celui proposé par d'autres.

M. L. Biard a proposé celui de 86 pour passer de la richesse pour 100 gr. de jus à celui de la canne, bien que, par le dosage du ligneux, on trouve 90 de jus (n° 8, 15 mars 1889) et il a établi qu'avec les coefficients 88 ou 89 et à plus forte raison 90 on *calculait une richesse exagérée de la canne.*

M. E. Giesbers propose d'adopter le coefficient 87.5 au lieu de 90, lorsqu'il y a en moyenne 90 de jus. Il a trouvé par expérience que, suivant le cas, il fallait adopter de 86 à 89 et c'est pourquoi il propose la moyenne. (*Bulletin de l'Association des chimistes,* 4 octobre 1893, p. 287.)

De notre côté nous avons fait également un certain nombre de dosages directs de cannes comparés aux dosages du sucre dans le jus obtenu par double pression, et pour des cannes ayant aussi de 9.5 à 10.5 p. 100 de ligneux.

Voici, par exemple, les détails d'une opération :

D'abord nous avons voulu vérifier si les cannes coupées en deux parties égales suivant la longueur, l'une pressée à l'état de canne,

l'autre partie découpée en rondelles et pressées, fournissaient toutes deux un jus analogue.

Nous avons déjà dit qu'à ce sujet nous n'avions aucun doute et que, pratiquement, les différences entre les deux moitiés étaient insignifiantes.

Dans le cas présent, ayant cherché à nous mettre dans les meilleures conditions pour séparer les cannes en deux parties, nous avons obtenu des résultats absolument concordants, vérifiant à la fois la même qualité du jus des deux moitiés et celle du jus des cannes entières ou découpées en cossettes avant d'être pressées.

Ceci a surtout un intérêt pour les usines qui se servent des coupe-cannes, soit pour l'extraction du jus à la diffusion, soit pour l'échantillonnage.

Nous avons eu (même moulin, même proportion de jus) :

Tableau LXXVI.

		DENSITÉ.	SUCRE p. 100 cc. de jus.	SUCRE p. 100 gr. de sucre.	GLUCOSE p. 100 cc.	CENDRES p. 100 cc. de jus.
		—	—	—	—	—
Jus des moitiés de cannes	coupées en longueur. .	1 071	16.48	15.34	0.37	0.60
	découpées en cossettes.	1 071	16.48	15.34	0.36	0.70

On a vu qu'au laboratoire de West-Java (Tegal Kagok) on a obtenu des résultats analogues sur des cannes découpées en deux parties suivant la longueur.

On a ensuite prélevé sur les cossettes, bien mélangées avant d'en passer la plus grande partie au moulin, deux forts échantillons, de nouveau mélangés séparément, et fait sur chacun une analyse.

Tableau LXXVII.

		SUCRE p. 100 gr. direct.	MOYENNES.
		—	—
1er échantillon.	Analyse *a*. . . .	13.17	13.15
	— *b*. . . .	13.14	
2e échantillon.	Analyse *c*. . . .	13.39	13.22
	— *d*. . . .	13.06	
	Moyenne générale. . . .	13.19	
A ajouter : sucre restant encore dans la cossette épuisée (par l'alpha naphtol)		0.02	
		13.21	

D'où, coefficient calculé :

$$\frac{13.21 \text{ sucre p. 100 gr. de cossetttes}}{15.34 \text{ — — de jus.}} = 86.1$$

Nous avons fait d'autres essais en extrayant le jus de la canne par différentes pressions, puis imbibition, repression et analyse de la bagasse restante, en pesant, mesurant et analysant tout et en prenant naturellement toutes les précautions pour éviter les pertes et les altérations de jus.

Voici les détails qui peuvent intéresser nos collègues :

1° 2 cannes choisies pesant ensemble $2^{kg},335$;

2° On a pressé une première fois, puis une deuxième ;

3° La bagasse restante a été imbibée d'eau par trempage dans un vase dont on a analysé le liquide ;

4° On a pressé la bagasse imbibée et enfin on a analysé la bagasse.

Tableau LXXVIII. — Analyse des produits.

	JUS			PETIT JUS
	de 1re pression.	de 2e pression.	de repression après imbibition.	(eau d'imbibition).
Densité	1 074.5	1 070	1 016	1 005
Volume	995	325	850	4.050
Sucre p. 100 centim. cubes.	17.32	15.87	3.56	1.00
Sucre p. 100 gr	16.12	14.83	»	»
Glucose p. 100 cent. cubes.	0.36	0.35	0.12	traces
Glucose p. 100 gr. de sucre.	2.1	2.3	3.3	»
Pureté	89.2	87.2	85.5	77.5
Cendres p. 100 cent. cubes.	0.54	0.75	0.20	0.08
Quotient salin	32	21.2	20.8	12.5

	1re ANALYSE.	2e ANALYSE.	MOYENNE.
Bagasse	3.3	3.4	3.45

Sucre retiré ou laissé.

Jus de 1re pression	172.3
— 2e —	51.7
— de repression	30.3
Petit jus	41.5
Bagasse	25.9
Sucre total	321.7

Soit pour 100 kilogrammes de cannes fraîches $\frac{321.7}{2335} = 13^{kg},77$ et $\frac{13.77}{16.12}$[1] $= 0,854$ comme coefficient.

Si on adopte la moyenne proportionnelle du jus des deux pressions qui est :

Densité.	1 073.4
Sucre p. 100 centimètres cubes.	16.96
Sucre p. 100 gr.	15.80
Pureté.	88.7

le coefficient calculé est de $\frac{13.77}{15.80} = 87.1$ au lieu de 90 p. 100 qu'on aurait dû adopter par le dosage du ligneux.

On voit donc qu'il n'est pas possible non plus de dire le coefficient exact à adopter, puisqu'on ne connaît pas le degré de pression exercé lors de chaque essai.

Ainsi, dans notre expérience, le jus de 1re pression représentait 46 p. 100, et le total du jus des deux pressions, plus de 60 p. 100. C'est ce que l'on peut obtenir couramment dans les laboratoires.

Mais, d'autre part, si on arrive à une telle proportion de jus lorsqu'on peut surveiller les préparations, on n'a pas la même certitude lorsqu'on a beaucoup d'essais à terminer en un jour et qu'on ne peut assister à toutes les opérations.

Il est certain qu'il y a une tendance générale à obtenir moins de jus de la canne pressée, donc un jus plus pur, ce qui diminue le coefficient à adopter. C'est ce qui doit expliquer les variations observées par différents chimistes.

Ces deux essais donneraient le coefficient *0.862*, se rapprochant beaucoup de celui de M. L. Biard qui a proposé 0.86.

Mais nous avons cherché à vérifier ce chiffre par un certain nombre de dosages directs et indirects.

Nous avons trouvé, comme M. E. Giesbers, que ce coefficient n'était pas constant et qu'il variait même considérablement.

---

1. Pour 100 gr. de jus de 1re pression.

Voici des moyennes de nombreux résultats par semaine :

Tableau LXXIX.

	SUCRE (dosage direct).	COEFFICIENT calculé.
1re semaine.	12.81	89
2e —	12.29	89.0
3e —	12.20	87.5
4e —	12.14	86.0
5e —	12.51	89.0
6e —	12.16	88.0
7e —	12.57	89.5
8e —	12.20	88
9e —	12.06	87.5
10e —	12.94	88.5
11e —	12.53	86
12e —	13.20	87
13e —	13.55	83
Moyennes. . .	12.55	87.4

chiffre qui se rapproche aussi de celui de M. E. Giesbers.

Les différences de 83 à 89 ne correspondent pas évidemment complètement à la variation de richesse du jus de pression par rapport à la richesse réelle de la canne. Il faut aussi en attribuer une part à la difficulté d'obtenir l'échantillon moyen de la canne devant être analysée directement.

Nous l'avons signalée et il faut peu de chose pour que l'analyse ne représente pas la moyenne exacte lorsque certaines parties de la canne contiennent 17 à 18 p. 100 de sucre et d'autres à côté 4 à 5 seulement.

Aussi, malgré les soins pris pour l'échantillonnage, arrive-t-on, dans chaque semaine, si on fait 14 essais directs (2 par jour, 1 par poste) sur un échantillon moyen de cossettes, à obtenir certains écarts avec l'analyse indirecte et calculant la richesse de la canne d'après le coefficient qui paraît le meilleur comme moyenne.

Pendant les 13 semaines correspondant aux tableaux ci-dessus on a eu parfois les écarts suivants.

Tableau LXXX.

ANALYSE directe.	Par COEFFICIENT 87.5	Par le COEFFICIENT sur l'analyse directe.
—	—	—
13.10	12.48	— 0.62
11.57	12.09	+ 0.52
11.96	12.36	+ 0.40
12.35	11.99	— 0.36
13.52	12.19	— 1.33
12.82	11.78	— 1.04
13.33	12.61	— 0.72
11.55	12.04	+ 0.49
11.31	11.85	+ 0.54
12.87	12.16	— 0.71
13.91	13.31	— 0.60
13.00	12.45	— 0.55
13.30	13.79	+ 0.49

Nous avons voulu étudier les variations du coefficient pour passer de la richesse du jus de cannes à celle de la canne elle-même en opérant comme on peut le faire dans un laboratoire de sucrerie, c'est-à-dire au point de vue pratique.

Pour cela, nous avons suivi durant une journée le travail d'une sucrerie et prélevé pendant chaque heure plusieurs échantillons de cannes divisées en cossettes. Après chaque heure, on préparait un échantillon moyen sur lequel on enlevait 2 à 3 kilogr. de cossettes, lesquelles étaient passées au moulin à deux pressions.

Sur le tas, quelques poignées de cossettes étaient mises à part, passées au mortier, et réduites en fibres plus ou moins grossières. Les trop longues étaient coupées aux ciseaux de façon, en un mot, à pouvoir faire un mélange aussi homogène que possible sur lequel on prélevait le poids nécessaire à l'analyse directe.

L'analyse directe était faite par épuisements successifs et dans les mêmes conditions, c'est-à-dire 6 épuisements avec 150 centimètres cubes à 175 centimètres cubes d'eau chaude chaque fois pour 50 gr. de cossettes ; durée de l'ébullition : de 10 à 12 minutes par addition d'eau.

Un dernier épuisement était mis à part, complété à 200° afin de voir s'il y avait encore du sucre en quantité sensible. La polarisation

faite sur un tube de 400 millimètres n'a fourni que des quantités très faibles, pouvant faire varier la richesse directe de 0.05 à 0.1 au plus.

Même résultat en opérant sur le liquide extrait de la pulpe épuisée par pression, seulement le liquide obtenu ainsi paraissait naturellement plus riche, puisqu'il n'était pas dilué dans 4 fois son poids d'eau.

C'est même le meilleur moyen de voir si une pulpe de cannes est bien épuisée.

Si on opère par extraction, on peut avoir un dernier liquide sans traces de sucre, parce que le véhicule suit un chemin toujours le même, mais si on soumet le résidu paraissant épuisé à une forte pression, on constate parfois encore la proportion de sucre de 0.2 à 0.5 par litre à l'aide de notre méthode micro-chromosaccharimétrique par le naphtol-alpha. S'il n'y a que 50 gr. de matière, cela correspond à 0.01 ou 0.025 ou 0.02 à 0.05 p. 100 de matière normale, quelquefois plus, suivant l'épuisement.

Voici le résultat de 12 essais de détermination du coefficient n° 2.

Tableau LXXXI.

	DENSITÉ du jus.	SUCRE p. 100 cc. de jus.	SUCRE p. 100 gr. de jus.	ANALYSE directe.	COEFFICIENT n° 2 (analyse directe). Sucre p. 100 gr. de jus.
	—	—	—	—	—
7 heures.	1 071	15.87	14.82	13.00	87.7
8 —	1 073	16.32	15.21	13.65	89.7
9 —	1 072.5	15.87	14.80	12.67	85.6
10 —	1 072	15.83	14.77	12.67	85.8
11 —	1 074	16.71	15.55	13.60	84.2
12 —	1 073	15.77	14.69	13.00	88.4
1 —	1 073	16.00	14.91	13.32	89.4
2 —	1 073	15.87	14.79	12.67	85.5
3 —	1 071	15.44	14.41	12.35	85.7
4 —	1 070	15.00	14.00	12.06	86.1
5 —	1 070	15.34	14.30	12.35	86.3
6 —	1 071.5	15.87	14.81	12.84	86.0
	1 072	15.82	14.75	12.84	86.7

Le ligneux était en moyenne de 9.8 p. 100.

La richesse par le ligneux aurait donc été de $\frac{14.75 \times 90.2}{100} = 13.30$, tandis que par l'analyse directe en moyenne on n'a eu que 12.84.

Contrôle de la moyenne. — Analyse de la moyenne du jus des cossettes mises à part à chaque heure :

Sucre p. 100 centimètres cubes de jus.	15.76
Sucre p. 100 gr. —	14.70

On voit que ce coefficient se rapproche de celui que nous avons obtenu par un essai spécial sur de la canne pressée, repressée, et avec imbibition d'eau, etc.

Mais il faut remarquer que si le coefficient 86.7 est possible, il y a eu des variations très grandes de 84.2 à 89.7. Cependant cela ne doit pas tenir aux cannes, puisque la densité du jus normal a peu varié.

En outre, pour 4 échantillons ayant donné sensiblement le même jus (densité 1 073-1 074) on a eu depuis 84.2 jusqu'à 89.4 comme coefficient calculé.

Ce grand écart ne vient pas de ce que le jus recueilli par le moulin était plus différent du jus normal dans un cas que dans l'autre. Il ne doit être attribué, en grande partie, qu'à la difficulté précisément de préparer un échantillon bien moyen pour que 50 gr. d'un mélange aussi variable que la cossette de cannes puisse représenter la richesse absolue correspondant à un travail de plusieurs milliers de kilogrammes.

Tandis que par le moulin la quantité de matière pressée est 30 à 100 fois plus grande et on n'a pas à craindre pour la dessiccation.

Ce sont là des faits qui paraissent évidemment en contradiction avec les conclusions que nous avons formulées au sujet du contrôle chimique en sucrerie de betteraves.

Mais les conditions, on doit le reconnaître, sont tout à fait différentes, attendu que la division de la betterave s'obtient aisément à l'aide des coupe-racines, et que, d'autre part, les variations de richesse extrêmes qu'on peut trouver d'une cossette à l'autre ne sont pas aussi considérables que dans la canne.

C'est précisément en étudiant le contrôle chimique de la sucrerie

de cannes pour l'établir conformément à celui de la sucrerie de betteraves que nous avons reconnu les difficultés d'opérer absolument de même.

Cependant, lorsque des appareils permettront de réduire en pulpe fine un poids assez fort de cossettes de canne, obtenues d'un fort échantillon de cannes entières ou recueillies du coupe-cannes, et que pendant tout ce travail on n'aura pas à craindre une évaporation, on pourra accepter l'analyse directe faite par le procédé le plus simple, ou digestion aqueuse à chaud (à froid, si la division de la fibre le permet) ou par épuisement ou lavage.

Il ne restera plus qu'à adopter un coefficient pour passer de la richesse directe de la canne travaillée à la richesse industrielle de la canne pesée, pour tenir compte de la perte en poids par la dessiccation des cannes, des cannes écrasées, mangées, des débris de feuilles, terre et déchets de toute nature n'arrivant pas au moulin ou au coupe-cannes.

Le coefficient moyen par lequel on doit multiplier la richesse pour 100 gr. de jus pour avoir la richesse de la canne doit donc être déterminé pour chaque usine suivant les conditions dans lesquelles on se trouve, c'est-à-dire l'appareil servant à presser les cannes, la pression exercée, le rendement en jus, le procédé suivi pour l'échantillonnage de la cossette, ou de la canne analysée directement, etc.

En tout cas, pour une richesse en ligneux de 10 p. 100, ce coefficient sera inférieur à 90 et pourra varier de 84 à 89 suivant les circonstances et se rapprocher de 86 à 88 en général.

Si les cannes sont peu chargées de ligneux, il est bien évident que l'on atteindra le coefficient 90, même s'il n'y a que 8 à 8 1/2 de ligneux, mais on descendra à 84, 85 pour des cannes ayant 12 p. 100 de ligneux et peu pressées.

Ce coefficient moyen permet donc de passer de la richesse du jus à celui de la canne et d'avoir des résultats rapides très sensiblement comparables pour des analyses industrielles.

Mais il ne donne que la richesse de la canne ou de la cossette prélevée soit au moulin, soit au coupe-cannes.

Or, cette canne analysée à ce moment ne représente pas exactement la canne entrée à l'usine à la bascule.

C'est alors qu'il nous faut étudier la deuxième question : Le coefficient à appliquer pour passer de la richesse du jus de moulin p. 100 à la richesse calculée de la canne p. 100 entrée à la bascule.

II. — Coefficient à adopter pour passer de la richesse du jus à la richesse de la canne travaillée.

La canne entrée à la bascule n'est généralement pas toute travaillée de suite.

Dans les usines où on travaille constamment, le service de nuit se fait au moyen de la canne reçue plus ou moins tard le jour.

Les cannes des wagons de la veille ne sont pas toujours écrasées ou coupées par ordre d'entrée, si bien que quelques wagons restent sur les voies pendant 10, 12 ou 15 heures.

S'il y a des arrêts quelconques pour nettoyage, fêtes, etc., de la canne en tas ou en wagons peut donc être conservée durant plusieurs jours.

Quel que soit le laps de temps écoulé entre la pesée et le travail de la canne, celle-ci subit une perte de poids, une dessiccation plus ou moins notable suivant l'état atmosphérique de l'air (température, vent). S'il survient des pluies, c'est le contraire, mais c'est le cas le moins fréquent, au moins pour certains pays.

La perte de poids est variable, suivant le mode de chargement, l'endroit où sont déposées les cannes, etc. On constate, par exemple, que des wagons peuvent perdre un poids correspondant à 0.6 ou 0.7 p. 100 en quelques heures. Dans d'autres circonstances, cette perte atteint 1 à 1.5.

Par conséquent, sur 100 kilogr. de cannes pesées à la bascule il n'en entrerait au moulin que 98.5, 98 ou 99.4, suivant la perte subie, si on n'avait qu'à compter sur la dessiccation.

Mais il y a bien d'autres pertes difficiles à calculer et qui correspondent :

1° Aux cannes écrasées ;

2° Aux cannes mangées ;

3° Aux débris de feuilles restés sur les wagons ;

4° A la terre qui tombe peu à peu des cannes et qu'on retrouve sur la plate-forme (quantité variable, quelquefois négligeable);

5° Aux déchets mis au rebut et provenant du nettoyage des transporteurs, etc.

Il y a donc perte de sucre réelle en poids, et perte de cannes.

La perte en sucre correspond au jus des cannes écrasées, aux cannes mangées et déchets de cannes. La perte en poids correspond aux débris de feuilles et à la terre.

Quelles sont les proportions de ces deux sortes de pertes? Cela est difficile à évaluer. Mais on compte encore qu'il y a de 0.2 à 0.3 p. 100 de déchets et terre. Quant aux cannes écrasées, mangées, la perte se chiffre encore par 0.1 à 0.2 p. 100. On peut donc avoir, d'une part, une dessiccation de 1.5 p. 100 et une perte en jus et divers déchets de 0.5, soit au total 2 p. 100. En un mot, sur 100 kilogr. pesés, il n'entre réellement dans ces conditions que 98 kilogr. de cannes. De plus, cette canne est plus riche que celle entrée, puisqu'il y a dessiccation et que lorsque cette dessiccation est rapide, en 10 ou 20 heures, il n'y a pas d'altération du sucre, mais augmentation de la richesse.

La richesse calculée de la canne avec le coefficient 86, 87 ou 88 est donc trop élevée si on veut savoir la richesse réelle rapportée à 100 kilogr. de cannes payées.

On peut calculer approximativement le 2e coefficient. Admettons que le coefficient n° 1 soit 87.

D'autre part, qu'il y ait 2 de perte totale, on a 87 — 2 — 85.

Mais on peut le déterminer exactement par le contrôle de la fabrication.

Pour cela, il faut connaître le volume du jus, sa richesse en sucre, la perte dans la bagasse ou la cossette, et la perte totale en sucre, ce qui donne le sucre total entré dans la fabrique. Ayant le poids de la canne entrée, on a la richesse industrielle de la canne payée.

C'est un contrôle qui est plus ou moins facile à appliquer, mais qui, en résumé, ne présente pas de difficultés sérieuses lorsqu'on examine ce qu'on fait déjà en sucreries de betteraves.

Il faut des mesureurs de jus, puis un échantillonnage régulier du jus obtenu par n'importe quel procédé, conservé et analysé une

seule fois par 12 heures. Enfin, pour les résidus, en avoir l'analyse et le poids (c'est là ce qui peut présenter le plus d'ennuis pour obtenir des résultats sérieux lorsqu'il s'agit des moulins), c'est-à-dire le poids de la bagasse et son analyse moyenne, etc.

Cependant, nous avons vu bien souvent ces poids notés et les analyses relevées.

En résumé, on a ainsi le sucre total entré. Lorsqu'on a la diffusion, le contrôle est des plus simples et c'est ce qui nous a permis d'étudier le 2e coefficient à plusieurs reprises et même constamment durant le fabrication. Comme le coefficient n° 1, il est assez variable.

Nous avons trouvé depuis 82 jusqu'à 87, suivant les années, les fabriques et l'époque de l'analyse, soit une moyenne de **84.5**.

Voici quelques chiffres :

Tableau LXXXII.

	1.	2.	3.
Densité du jus.	1 066.7	»	»
Sucre p. 100 centim. cubes de jus .	14.56	»	»
Sucre p. 100 gr. de jus.	13.65	15.67	14.71
Ligneux	9.61	10.07	10.50
Jus par différence	90.39	89.93	89.50
Richesse calculée par le ligneux. . .	12.34	14.08	13.20
Sucre p. 100 gr. de cannes par jus + pertes.	11.88	12.84	12.44
2e coefficient calculé	*87.1*	*82.0*	*84.5*
Analyse directe	»	13.41	12.87
1er coefficient à appliquer.	»	85.6	87.4

Le coefficient n° 2, pour passer de la richesse p. 100 gr. du jus à la richesse industrielle rapportée à 100 kilogr. de cannes pesées, que nous venons de signaler comme étant de 84.5 d'après nos essais, est très voisin de celui adopté à Maurice, ainsi que nous l'a appris M. P. Bonâme dans son rapport annuel de la station agronomique de l'île Maurice pour 1895.

Nous trouvons à la page 39 les lignes suivantes :

« Pour tous les chiffres se rapportant à la canne, à moins d'indications contraires, l'analyse est faite sur le jus obtenu par *le moulin*

de laboratoire et la richesse de la canne est calculée avec le coefficient de **0.84**, *adopté dans la colonie.* »

Nos résultats moyens concordent sensiblement avec ceux qui ont pu servir aux fabricants de sucre de Maurice pour établir ce coefficient.

MM. Kœnig, Fouquereaux de Froberville, J. Maricot, J. de C. Mazerieux ont donné des tableaux dans lesquels ils ont adopté le coefficient 84 pour passer de la richesse du jus en poids à celle de la canne (Maurice). [*Bulletin de l'Association des chimistes,* numéro de novembre 1892.]

M. G. L. Clarenc a donné une formule qui est la suivante :

$$R \times 1.80 = C \text{ ou sucre p. 100 gr. de cannes.}$$

R correspond au degré régie, ce degré régie étant 7.5 par exemple pour 1 075. Donc $7.5 \times 1.8 = 13.5$ de sucre p. 100 de cannes.

Ce calcul se rapproche beaucoup de l'adoption du coefficient 84, mais ne peut s'appliquer à tous les cas, surtout pour les densités inférieures à 1 070 et pour les cannes plus ou moins altérées ou desséchées.

On pourrait peut-être, jusqu'à nouvel ordre, adopter alors pour les recherches faites d'après l'analyse du jus, des coefficients moyens :

Soit, 1° le coefficient 87 pour calculer la richesse de la canne passée au moulin, d'après la richesse du jus p. 100 gr.;

Soit, 2° le coefficient 85 pour calculer la richesse industrielle de la canne pesée d'après la richesse du jus p. 100 gr.;

Ou uniquement le coefficient 85 pour toutes les analyses, puisque, en résumé, on doit toujours tout rapporter à la canne pesée et travaillée industriellement.

SEPTIÈME PARTIE

NOTES ADDITIONNELLES

I. — Détermination de la quantité de marc ou ligneux contenue dans la canne[1].

On sait que la canne contient une proportion très variable de résidu insoluble dans l'eau qu'on est convenu d'appeler le ligneux.

La proportion de ligneux varie avec l'âge des cannes, la maturité, la qualité des cannes. Dans une même canne, le ligneux varie suivant la hauteur, les nœuds ou entre-nœuds, la partie extérieure ou intérieure.

Nous avons donné des chiffres.

Mais, toutes choses égales d'ailleurs, *la quantité de ligneux varie avec le procédé employé pour sa détermination.*

Voici un tableau dû à M. W. Krüger, que nous trouvons dans le 2e volume qu'il a publié sur les recherches faites au laboratoire de Kagok Tegal (Java), 1896, p. 5.

Tableau LXXXIII.

Par l'extraction alcoolique.

	3 HEURES. *a*	6 HEURES. *b*	9 HEURES. *c*	DIFFÉRENCE *a — c*
1.	10.25	10.11	10.00	0.27
2.	10.62	10.46	10.37	0.25
3.	10.19	10.08	10.00	0.19

Par l'extraction aqueuse.

	10 FOIS. *a*	15 FOIS. *b*	20 FOIS. *c*	DIFFÉRENCE *a — c*
1.	9.94	9 75	9.46	0.48
2.	9.98	9.78	9.59	0.39
3.	10.13	9.92	9.73	0.40

1. A propos du travail de M. H. Prinsen Geerligs (*Archief voor de Java Suikerindustrie*, 1897, n° 7).

D'après H. Prinsen Geerligs, la différence entre le ligneux par extraction alcoolique et l'extraction par l'eau est d'autant plus forte que la canne est plus jeune.

Tableau LXXXIV.

	CANNES DE			
	5 mois.	6 mois.	9 mois.	12 mois.
Matières ligneuses par l'extraction aqueuse. .	7.36	7.99	8.38	10.52
— — alcoolique.	8	8.65	8.85	10.94
Différence en p. 100 du ligneux	8.2	7.5	5.3	3.9

Il s'ensuit donc que plus on traite longtemps la canne par l'eau plus ou moins chaude et plus on dissout de matières, moins on calcule de ligneux; que si on remplace l'eau par l'alcool, on obtient encore moins de dissolution, d'où *plus de ligneux*.

Cela a été observé également pour le dosage du marc dans la betterave à propos des différentes méthodes employées pour le dosage du sucre dans cette racine[1].

M. H. Prinsen Geerligs a conseillé récemment de se servir de l'alcool pour la détermination du ligneux par extraction. Il y a bien, dit-il, quelques causes d'erreurs, mais moins grandes que par les traitements à l'eau.

Au point de vue scientifique, M. H. Prinsen Geerligs a probablement raison, mais au point de vue pratique, nous ne le croyons pas. D'abord, le dosage du ligneux n'est qu'un résultat comparatif. Donc, il suffit d'opérer de la même façon à chaque essai pour obtenir des résultats normaux. C'est ce qui peut être fait en suivant le procédé de dosage du sucre par extractions successives à l'aide de l'appareil de Zamaron. Soit 6 lavages en 1 heure et avec des proportions de cannes et d'eau toujours les mêmes.

Puis, en industrie, on n'utilise pas l'alcool, mais l'eau pour imbiber les cannes, ou bien pour extraire le jus par diffusion. Donc, dans les usines qui opèrent par la diffusion, le dosage du ligneux doit être exécuté par l'eau chaude.

---

1. E. von Lippmann (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie*, 15 mai 1887, p. 152).

II. — Composition du ligneux.

M. H. Prinsen Geerligs, dans une récente et remarquable étude sur la bagasse[1], a indiqué que la bagasse traitée dans différentes conditions donnait les résultats ci-après :

Tableau LXXXV. — Sur 100 gr. de bagasse sèche.

Cellulose par la méthode de Weenden	50.3
— — au chlorate de potasse	52.2[2]
Substance soluble dans l'acide sulfurique dilué à l'ébullition	36 3
Sucre formé par ce traitement	29.8
Matières solubles dans la soude provenant de l'insoluble dans l'acide chlorhydrique	9.45
Matière totale soluble dans la soude à 5 p. 100 (bouillante).	39.7

De cette matière on précipite :-

Par l'alcool et l'acide acétique . . .	30.80
Cendres	3.95
Azote	0.175
Matières azotées calculées	1 094

Le même auteur a ensuite étudié séparément les substances organiques, les matières colorantes, la cellulose, la gomme de canne, etc.

Il a remarqué que le ligneux de la canne jeune contient moins de cellulose que celui de la canne plus âgée.

Tableau LXXXVI. — Substances diverses et cellulose p. 100 gr. de ligneux.

	CANNES DE			
	5 mois.	6 mois.	9 mois.	12 mois.
Cellulose d'après la méthode de Weenden.	38.36	39.75	41.36	50.3
Xylone	25.70	28.5	30.82	31.50
Cendres.	3.45	3.35	4.02	3.96
Albumine, etc.	2	2	2	2
Non dosés	30.49	26.40	21.80	12.25

1. *Archief voor de Java Suikerindustrie,* 1897, n° 7.

2. On a également démontré que le marc de betteraves ne renfermait qu'une quantité de cellulose pure relativement faible et que, suivant que la betterave était montée ou non montée en graines, plus ou moins mûre ou suivant les années, la quantité de matières solubles dans l'eau chaude variait, à propos du travail à la diffusion. (Divers.)

M. H. Prinsen Geerligs, d'après ses essais, dit que la bagasse de cannes n'est pas très recommandable pour la préparation de pâte à papier, puisque, dit-il, il y a 40 p. 100 de matières solubles dans la soude.

Ceci était connu et, dans les études faites pour l'emploi de la bagasse, on admettait qu'il y avait en moyenne 5 p. 100 de cellulose plus ou moins pure destinée à la production de la pâte à papier.

M. P. Bonâme, de son côté, a dosé la quantité de cellulose contenue dans la canne renfermant diverses proportions de ligneux et a obtenu les résultats ci-après[1] :

Tableau LXXXVII.

	1.	2.	3.
Ligneux. . . . . p. 100	10.53	11.15	14.80
Cellulose	5.83	5.96	7.80
— (après traitement par les acides et alcalis dilués et à chaud) . . . . . p. 100	55.3	53.4	52.7

Ce qui faisait dire à M. Bonâme que le ligneux contenait en moyenne 50 p. 100 de cellulose.

Ces chiffres sont très rapprochés de ceux cités par M. Prinsen Geerligs et, en outre, le dosage exact de la cellulose pure n'est pas encore très facile, puisque les résultats varient avec les procédés employés au traitement de la substance insoluble de la canne[2].

III. — Eau colloïdale.

On sait que le jus obtenu par la pression n'est pas le jus moyen renfermé dans toute la canne, et que le jus recueilli ne correspond pas au jus restant dans la bagasse déjà pressée. Le jus restant est toujours plus pauvre, pour ne parler que de la proportion de sucre.

On doit donc admettre, comme pour la betterave, la présence de

1. P. Bonâme, *Culture de la canne à sucre,* p. 206.

2. Du reste, dans une étude sur la fabrication du papier de bagasse, parue il y a plusieurs années dans le *Journal des Fabricants de sucre,* il est dit qu'il faut 2 parties de bagasse ordinaire des moulins pour avoir une partie de papier vendable. Or, on peut admettre 25 à 30 p. 100 de bagasse, soit donc 4 à 5 de papier pour 100 kilogr. de cannes.

l'eau combinée à différentes matières organiques et M. H. Prinsen Geerligs a essayé de déterminer la proportion d'eau colloïdale contenue dans la canne. Il a trouvé dans différents essais environ 35.5 p. 100 du ligneux, c'est-à-dire que si une canne laisse 10 p. 100 de ligneux, il peut y avoir 3.5 d'eau colloïdale ne participant pas au jus sucré.

Ce chimiste a opéré à l'aide de solutions salines titrées notamment du chlorure de sodium.

Voici un exemple de calcul :

Bagasse complètement épuisée à froid et légèrement pressée.		100 gr.
Solution de sel marin	1.006 p. 100 gr.	500 gr.
Soit sel marin ajouté.	5.030 —	

Après mélange, on a dosé p. 100 gr. de la solution 0,8 808 de chlorure de sodium.

D'où :

$$\frac{5.030 \times 100}{0.8808} = 571^{gr},4.$$

On avait donc retiré de la bagasse $71^{gr},4$ d'eau non combinée.

La bagasse, directement, contenait 78.9 p. 100 d'eau, 21.2 de ligneux. D'où, eau de constitution, 78.9 — 71.4 = 7.5 ou 35.5 p. 100 de la matière fibreuse ou du ligneux.

M. Prinsen Geerligs déduit de ses recherches que c'est surtout la *gomme de cannes* qui retient cette eau dans la canne et non la cellulose[1].

IV. — Conservation de la bagasse pour l'analyse.

Il est très intéressant de pouvoir conserver la bagasse de plusieurs prélèvements pendant la journée pour n'avoir qu'une analyse à

1. Nous avons étudié aussi cette question, mais en remplaçant la canne par de la pâte à papier. Or, nous avons constaté, par des essais analogues à ceux rapportés par M. H. Prinsen Geerligs, que toute l'eau de la pâte à papier pressée ne participait pas à la dilution. En un mot, que la cellulose retiendrait fortement son eau et empêcherait une diffusion rapide entre l'eau intérieure retenue par la pâte et la solution saline mise en contact.

exécuter par poste. M. H. Prinsen Geerligs a essayé divers antiseptiques sans succès.

Il a repris les essais de van Lookeren Campagne, datant de 1894, et il a pu constater que l'on pouvait obtenir la conservation de la bagasse par la stérilisation.

Pour cela, l'auteur prend 20 gr. de bagasse qu'il stérilise dans les appareils ordinaires connus pour la bactériologie et il a essayé successivement 2 et 3 stérilisations. Il a obtenu les résultats ci-après :

Tableau LXXXVIII. — Stérilisation.

SUCRE P. 10 GR. de bagasse.	1 FOIS.	2 FOIS.	3 FOIS.
—	—	—	—
Avant stérilisation. .	6.5	6.5	6.5
Après 1 jour. . . .	6.5	6.4	6.5
— 2 jours	5.76	6.3	6.4
— 4 jours	4.52	6	6.4
— 10 jours	»	6	6.2

C'est un moyen qui, en effet, peut être employé pour réduire les analyses de bagasses, lorsqu'on écrase la canne par les moulins.

Lorsqu'on emploie la diffusion, la cossette épuisée se conserve très facilement durant 12 heures, après avoir subi l'action d'une température de 90° pendant plusieurs heures.

Il suffit alors de composer un échantillon moyen des cossettes écrasées prélevées autant de fois qu'on le désire, et de le conserver dans une grande boîte en zinc fermée et entretenue aussi propre que possible. Ceci ne sert que de contrôle, car, pour la marche même de la batterie, on doit analyser la cossette, épuisée très souvent, et avoir des résultats après chaque heure.

V. — Composition du sol égyptien.

Limons et eaux du Nil.

Un grand nombre d'analyses ont été faites. Nous rappellerons celles dues à MM. Champion et Pellet, exécutées sur des échantillons rapportés par Gastinel-Bey et publiées en 1871-1872 dans un rapport à S. A. Ismaïl-Pacha présenté par la commission spéciale dont Payen était le président.

Évidemment le sol égyptien doit se rapprocher beaucoup de la composition du limon du Nil, dont diverses analyses ont été faites.

Tableau LXXXIX. — Limon du Nil[1].

Analyses de M. Schlœsing.

	POUR 100 GR. de matière sèche.
1° Analyse physique :	—
Cailloux et graviers	0
Gros sable	20
Sable fin	59
Argile	21
2° Analyse chimique :	
Silice	50.40
Potasse	1.10[2]
Soude	1.20
Chaux	4.70
Magnésie	3.20
Alumine	19.80
Peroxyde de fer	11.70
Acide carbonique	0.91
Acide phosphorique	0.08
Eau combinée et matières organiques	8.20
	101.29

Tableau XC.

Analyses du professeur Letheby, de Londres.

(Moyenne d'une année.)

	PENDANT la crue.	PENDANT l'étiage.
Acide phosphorique	1.78	0.57
Chaux	2.06	3.18
Magnésie	1.12	0.99
Potasse	1.82	1.06
Soude	0.91	0.62
Alumine, Oxyde de fer	20.92	23.55
Silice	55.09	58.22
Matières organiques et humidité	15.02	10.37
Acide carbonique, Pertes, etc.	1.28	1.44
	100.00	100.00

1. Voir les différentes communications faites par M. Ventre-Pacha à l'Institut égyptien, de 1887 à 1891.

2. Dont 0.048 soluble dans l'acide nitrique faible.

Tableau XCI.

Analyses faites au Muséum, à Paris, par M. Terreil.

Acide phosphorique	0.24
Chaux	2.63
Magnésie	3.42
Potasse	0.91
Soude	2.52
Alumine	21.90
Oxyde de fer	4.72
Silice	50.37
Matières organiques et humidité	11.52
Acide carbonique	1.66
Pertes, etc.	0.11
	100.00

Tableau XCII. — Eau du Nil.

Analyse de M. A. Müntz.

	POUR 1000 PARTIES.	
	En dissolution.	En suspension.
Azote	1.07	3.00
Acide phosphorique	0.40	4.10
Potasse	3.66	150.00
Chaux	48.00	70.50

Tableau XCIII.

Analyse de M. le Dr Letheby, de Londres.

	PAR LITRE D'EAU.	
	Minimum.	Maximum.
Matières organiques	0.0051	0.1841
— minérales	0.0383	1.3074
Total	0.0434	1.4915

Vœlcker a indiqué[1] :

	PAR LITRE.	
	Au début de la crue.	En pleine crue.
Matières en suspension	0.2398	1.2480
— en dissolution	0.2548	0.1694

1. Ch. Pensa, *les Cultures de l'Égypte* (*Annales de la Science agronomique française et étrangère*, t. II, 1896).

	PAR LITRE D'EAU A L'ÉTIAGE	
	Eau d'infiltration d'un puits.	Eau du Nil ayant traversé.
Chaux	0.1656	0.0424
Magnésie	0.0453	0.0100
Soude	0.0820	0.0062
Potasse	0.0037	0.0144
Chlore	0.1360	0.0067
Acide sulfurique	0.0593	0.0216
— nitrique	0.0017	»
Silice, alumine et fer	0.0180	0.0097
Matières organiques	0 0060	0.0175
Acide carbonique et pertes	0.1226	0.0403
	0.6402	0.1688

(Voir aussi les analyses de M. Mathey en 1887[1].)

VI. — Analyses directes de terres provenant d'Égypte.

En 1881, Gastinel-Bey avait trouvé, d'après l'analyse de 22 échantillons de terre, mêmes échantillons que ceux ci-dessous, mais après la culture intensive :

Tableau XCIV.

	POUR 100 GR. de matière sèche.
Azote total	de 0.124 à 0.279
Acide phosphorique	de 0.230 à 0.850
Chlorure de sodium	de 0.007 à 15.024
Sulfate de soude	de 0.018 à 1.070

Ces mêmes terres, analysées en 1871-1872 par Payen Champion et Pellet, contenaient :

	POUR 100 GR. de matière normale.
Azote total	de 0.041 à 0.064
Acide phosphorique	de 0.160 à 0.290

1. Ch. Pensa, *les Cultures de l'Égypte* (*Annales de la Science agronomique française et étrangère*, t. II, 1896).

En 1895, nous avons analysé un grand nombre d'échantillons de terres d'Égypte et nous avons eu les résultats ci-après :

Tableau XCV.

	POUR 1 000 GR. DE MATIÈRE NORMALE SÈCHE.			
	Surface.		Fond à 0m,80 ou 1 mètre.	
	1.	2.	1.	2.
Azote	1.00	1.10	0.90	0.93
Acide phosphorique	1.30	2.30	2.00	1.90
Chaux	28.40	25.80	27.10	26.50
Magnésie	21.40	18.00	17.10	18.00
Potasse	2.90	2.10	2.10	2.50

Pour 30 autres échantillons on a eu :

Tableau XCVI.

Azote	de 0.77 à 2.50
Acide phosphorique	de 1.68 à 3.20
Chaux	de 11.50 à 27.30
Magnésie	de 9.80 à 23.60
Potasse	de 1.60 à 3.80
Acide sulfurique	de 0.25 à 0.55

Tableau XCVII.

Analyse moyenne de 30 échantillons de terres d'Égypte de divers endroits.

	TERRE à 200 kilomètres du Caire.		MOYENNE.	AUTRE endroit à 40 kilomètres du Caire. Moyenne.
	Tamis 60.	Tamis 30.		
Azote	1.40	1.20	1.30	0.77
Acide phosphorique	1.84	1.98	1.90	1.73
Chaux	25.80	26.60	26.20	24.20
Magnésie	17.30	17.30	17.30	23.90
Potasse	2.30	2.70	2.50	2.80
Acide sulfurique	0.40	0.34	0.37	0.30

On a trouvé pour l'analyse physique :

	TERRE à 200 kilomètres du Caire.		AUTRE analyse de 1894.
Sable grossier	54.6	68.0	75
Sable fin	13.4		
Argile	31.0	32.0	25
Partie soluble et divers	1.0		
	100.0	100.0	100

Le sable et l'argile sont tous deux calcaires.

Analyse séparée du sable et de l'argile des échantillons de 1895.

	SABLE.	ARGILE.	DANS l'eau de lavage pour 100 gr. de terre.
Azote	1.67	0.80	traces
Acide phosphorique	1.87	2.10	traces
Chaux	25.20	28.20	2.450
Magnésie	16.60	19.0	1.470
Potasse	2.30	2.0	0.150

Nous avons fait ensuite une analyse complète de l'échantillon moyen des terres ci-dessus, et nous avons eu :

Tableau XCVIII.

	POUR 1000.
Silice	546.00
Alumine	197.00
Peroxyde de fer	92.00
Carbonate de chaux	57.00
— de magnésie	41.00
Potasse	2.70
Ammoniaque	0.00
Acide phosphorique	1.84
— sulfurique	0.50
Matières organiques	59.00
Non dosés. — Chlore. — Soude	2.96
	1000.00
Azote nitrique	0.130
— organique	1.270
Azote total	1.400

M. Ch. Pensa a trouvé de son côté :

Tableau XCIX.

	POUR 100 DE TERRE.			
	A la surface		A 0m,60 de profondeur.	
	1.	2.	1.	2.
Terre fine	98.20	99.30	98.50	98.35
Pierres.	18.0	0.70	1.50	1.65
Calcaire	3.40	3.01	4.33	1.80
Insoluble.	62.70	69.20	64.70	64.10

A l'analyse chimique :

	A la surface.		A 0m,60 de profondeur.	
	1.	2.	1.	2.
Azote	0.77	0.42	0.84	0.42
Acide phosphorique. . .	1.50	1.84	2.96	3.23
Potasse	4.24	3.21	5.68	3.23
Chlore.	0.25	0.38	0.00	0.00

VII. — Culture de la canne à sucre en Égypte.

Nous n'avons nullement l'intention d'entrer dans des développements bien longs à ce sujet. Nous n'en parlons pour ainsi dire qu'accidentellement et parce que M. Ch. Pensa a publié dans le même recueil un très intéressant travail sur les cultures de l'Égypte.

Dans l'opuscule de M. Ch. Pensa on trouve certains détails parfaitement exacts relativement à la culture de la canne en général. Mais, par contre, d'autres nous paraissent beaucoup moins exacts. Par exemple, M. Pensa dit (page 54) que le sol égyptien est généralement peu calcaire. Cela est vrai si on le compare à certains terrains renfermant 10, 15 et 20 p. 100 de carbonate de chaux. Mais c'est une terre excellente au point de vue de la quantité de calcaire qui s'y trouve et l'état de division dans lequel on le rencontre, puisque les cailloux sont pour ainsi dire inconnus dans le sol égyptien. La canne, du reste, ne réclame pas un terrain tout particulièrement calcaire, car les sols des colonies, de très bonne qualité pour la canne à sucre, renferment beaucoup moins de chaux que le sol égyptien.

Voici, du reste, des chiffres publiés dans divers ouvrages et que

nous retrouvons dans la brochure de M. Ventre-Pacha (1889) intitulée : *Le sol égyptien et les engrais,* pages 31 et suivantes.

Pour 100 gr. de terre sèche :

Tableau C.

	TERRES								
	DE LA RÉUNION.					DE LA GUADELOUPE.			de la Martinique.
	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	1.
Humus	22.30	10.76	17.91	24.50	17.59	23.53	30.31	27.75	Non dosé
Azote.	0.30	0.18	0.21	0.20	0.19	0.18	0.26	0.29	0.211
Potasse et soude . .	0.58	2.10	0.53	0.52	0.67	0.10	0.11	0.12	0.111
Acide phosphorique .	0.04	0.36	0.04	0.06	0.08	0.08	0.11	0.18	0.243
Chaux	*0.35*	*1.56*	*1.06*	*0.36*	*0.18*	*0.45*	*1.15*	*0.10*	*1.295*
Magnésie	0.04	1.92	3.03	0.51	0.03	0.18	0.76	0.64	1.150
Oxyde de fer et alumine	40.48	20.22	21.70	20.17	29.20	12.52	15.29	17.07	12.831
Insoluble, etc. . . .	35.91	62.90	55.32	53.68	52.06	62.92	52.01	53.85	»

On voit que, par kilogramme, cela représente 1 à 15.60 de chaux, alors que nous en avons dosé plus de 25 gr. environ, et M. Ch. Pensa lui-même a dosé plus de 18 à 43 gr. de calcaire par kilogramme de terre d'Égypte. Au Brésil, beaucoup de terres à cannes ne contiennent également que peu de chaux.

D'après nous, les apports de chaux dans la terre d'Égypte ne sont nullement nécessaires, en général du moins, sauf dans quelques cas spéciaux et surtout au point de vue physique.

L'addition d'acide phosphorique dans le sol égyptien n'est pas toujours utile et les essais de culture directe apprennent à ce sujet beaucoup plus que toutes les analyses de terre. Il y a surtout à faire remarquer qu'en général la couche arable est très profonde et que l'épuisement du sol étant fait pour ainsi dire à la surface, le travail physique et mécanique du sol a une très grande influence sur les résultats des récoltes.

Du reste, des essais ont été entrepris de divers côtés pour l'amélioration de la canne à sucre, tant au point de vue de la richesse

que du rendement à l'hectare ou, pour parler comme en Égypte, par feddan ($0^{ha},42$).

Nous ne doutons pas des rendements cités par M. Pensa, à la Martinique, chez M. Thiéry, mais il faut voir si ces rendements se maintiennent plusieurs années et s'ils sont pour des surfaces relativement grandes.

En Égypte, il y a quelques feddans qui donnent bien 100 000 et 110 000 kilogr. à l'hectare, mais à côté il y en a d'autres qui ne donnent que 50 000 et 60 000 kilogr. Néanmoins, il y a encore des progrès à faire dans ce sens. Seulement, il n'est pas toujours facile de faire essayer même les bons conseils. D'autre part, au point de vue des engrais, il y a un facteur tellement important, l'*eau et son mode d'emploi,* qu'on peut obtenir des résultats complètement différents dans le même sol, avec les mêmes engrais et par conséquent faire attribuer à un engrais un résultat bon ou mauvais qui ne provient exclusivement que de la manière dont l'eau a été fournie et utilisée. Nous parlons de la culture avec irrigation.

Puis il y a la grosse question de l'échantillonnage de la canne, du mode d'analyse, etc., ce qui, jusqu'ici, n'avait pas été, selon nous, suffisamment étudié, sauf par M. P. Bonâme dans ces derniers temps. C'est précisément en nous livrant à des recherches variées sur la canne à sucre que nous avons reconnu la nécessité d'une base sérieuse pour connaître la véritable valeur d'un carré ou d'un champ de cannes. Autrement, auparavant, avec les méthodes ordinaires admises comme les plus exactes, on arrivait à tout, excepté à des résultats précis.

Quant à la richesse saccharine de la canne, elle est très variable ainsi qu'on l'a vu, mais les moyennes citées par M. C. Pensa nous paraissent faibles.

En effet, l'auteur parle de richesses de 12 à 15 kilogr. de sucre à l'hectolitre de jus, suivant les mois de travail.

Prenons la moyenne de *13.5* de sucre p. 100 litres de jus. Densité 1 067 à 1 069 (d'après les rapports de la Daira Sanieh), soit sucre pour 100 grammes de jus, 12.7.

Il ne faut compter que 87 à 88 comme coefficient industriel pour passer de la richesse du jus pour 100 gr. à la richesse de la canne

ou $11^{kg},1$ de sucre pour 100 kilogr. de cannes, et cela sans perte. La différence serait encore bien plus grande si on adoptait le coefficient 84 comme à l'île Maurice.

Or, les pertes à l'extraction, le sucre dans la mélasse, la perte dans le noir, les pertes par transformation, etc., etc., forment un total tel que les rendements industriels obtenus sont au-dessus de cette différence, d'après les rapports même officiels.

C'est pourquoi nous avons calculé que la richesse de la canne en Égypte était de 12 à 13 kilogr. en moyenne p. 100 kilogr. de matière normale avec des variations considérables. La moyenne entre les années bonnes et les années mauvaises peut aussi différer de plus de 2 p. 100.

Tableau CI. — État comparatif des récoltes de 1890 à 1895[1].

		SURFACE cultivée en cannes par la Daira.	CANNES TOTALES récoltées.	CANNES par hectare.
		—	—	—
		hectares	kilogr.	kilogr.
1890	(environ)	4 150	130 000 000	31 000
1891	—	3 380	117 000 000	34 000
1892	—	3 230	114 000 000	36 000
1893	—	2 520	89 800 000	35 000
1894	—	1 395	65 000 000	46 000
1895	—	1 075	48 000 000	45 000

Ces rendements, on le voit, augmentent chaque année et comprennent la moyenne des deux récoltes pour une seule plantation. Or, la seconde repousse ne donne que 50 à 60 p. 100 du rendement de la première année.

Certainement, les rendements de 45 000 kilogr. en moyenne ont été dépassés dans plusieurs Teftiches (sociétés agricoles), et des récoltes de 80 000 à 90 000 kilogr. à l'hectare ont été observées en première année. Il faut tenir compte aussi que le procédé par irrigation donne lieu à une certaine perte de surface de terrain cultivé par suite de la division du sol en carrés séparés par des canaux d'importance variable.

1. *Cannes à sucre.* Rapport de la Daira Sanieh de 1896, p. 7.

L'ACIDE NITRIQUE

DANS

LES EAUX DE RIVIÈRE ET DE SOURCE

Par M. Th. SCHLŒSING

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

C'est une question très intéressante pour les agriculteurs que celle de savoir combien une terre végétale lavée par les infiltrations des pluies perd d'azote assimilable, au cours d'une année. On est tenté de la résoudre en prenant pour base de calcul les proportions d'acide nitrique trouvées par divers observateurs dans les eaux de drainage, mais il y a des raisons de penser que ces proportions, mesurées dans des cas particuliers où la nitrification prend une activité inusitée, conduiraient à une évaluation exagérée.

Il m'a paru possible d'obtenir une évaluation plus sûre en mesurant l'azote perdu, non par des surfaces très limitées, comme celles de champs drainés, mais par une vaste étendue de territoire, par exemple celle du bassin entier d'une rivière. Les cours d'eau sont les drains naturels où aboutissent les eaux infiltrées dans leurs bassins ; doser l'acide nitrique dans un cours d'eau, c'est le doser dans l'ensemble des eaux de drainage de son bassin ; c'est mesurer la perte d'azote subie par une superficie de terrain très étendue, de laquelle se déduit la perte moyenne par unité de surface.

Mais il faut choisir pour une semblable étude l'occasion où une

rivière est exclusivement alimentée d'eaux souterraines, exemptes de toute altération. Cette occasion s'est présentée au mois de février 1895, pendant que régnait un froid rigoureux qui avait suspendu tout apport d'eau de ruissellement et toute consommation de nitrates par la végétation aquatique. Je me suis empressé de la saisir, et j'ai dosé alors l'acide nitrique dans les eaux de la Seine, de l'Yonne, de la Marne, de l'Oise.

Ce premier travail en a amorcé un deuxième, dans lequel je me suis proposé de suivre, pendant une année, les variations de l'acide nitrique dans la Seine et ses trois principaux affluents, afin d'acquérir sur le *régime nitrique* des rivières des notions que n'ont pu fournir jusqu'ici des dosages isolés faits dans diverses eaux, à des dates quelconques.

En même temps, j'ai déterminé l'acide nitrique dans les eaux de source dérivées à Paris ; et cette recherche n'a pas tardé à prendre un intérêt tout spécial que je ne soupçonnais pas à son début : des différences très nettes se sont produites entre les eaux de la Vanne et de la Dhuis, d'une part, et celles de l'Avre, d'autre part. Pendant que le titre nitrique restait presque constant dans les premières, malgré la diversité des conditions climatériques, il subissait dans les eaux de l'Avre des variations considérables. Ce contraste m'a suggéré des idées et des études nouvelles sur les conditions naturelles, d'où résultent la constance ou la variabilité de la constitution minérale des eaux de source, et sur un nouveau mode de l'emploi de l'analyse chimique pour distinguer les eaux pures et potables de celles qu'on doit tenir pour suspectes.

Ainsi, de nouveaux points de vue m'apparaissant successivement, mon travail s'est développé bien au delà de mes prévisions ; il n'est pas terminé en ce qui concerne les eaux de source : il reste à connaître l'influence sur leur constitution des années sèches, ou humides, ou normales. Mais, sans attendre le terme nécessairement assez éloigné de ces études, je crois avoir réuni dès maintenant des observations assez nombreuses, assez originales, pour en faire la matière d'un premier Mémoire.

I. — Azote enlevé à la terre végétale par l'infiltration des pluies.

La question de savoir combien d'azote est enlevé annuellement à la terre végétale par les infiltrations des pluies s'est présentée chaque fois qu'on a essayé d'établir, au point de vue de l'azote, la statique d'un sol, c'est-à-dire le compte de ses pertes et gains en principes azotés. Pour la résoudre, on a admis, avec raison, que l'azote entraîné se trouve presque en totalité dans les nitrates dissous; conséquemment, on s'est borné à doser l'acide nitrique dans les eaux de drainage.

On a trouvé ainsi, le plus souvent, des pertes d'azote considérables, qui donneraient à l'entraînement des principes azotés par l'infiltration des pluies une très grande importance, si on les étendait à la généralité des terres labourées; mais ce serait prendre l'exception pour la règle. Il est certain, en effet, que les résultats d'analyse publiés ont été obtenus, pour la plupart, dans des conditions où la nitrification acquérait une activité inusitée; on a dosé l'acide nitrique exclusivement dans des eaux qui avaient traversé des champs drainés, ou des cases de végétation ou même de simples pots. Or, les terres que l'on draine ont accumulé en elles, avec le temps et en l'absence d'air, de grandes quantités de matière organique, laquelle, venant à rencontrer l'oxygène après l'installation du drainage, devient, pendant nombre d'années, une source abondante de nitrates. Quant aux cases de végétation et aux pots, on sait bien que l'émiettement de la terre, inévitable au moment du remplissage, détermine une exagération longtemps soutenue de la nitrification.

En réalité, malgré toutes les analyses d'eaux de drainage exécutées jusqu'à ce jour, malgré toutes les recherches dont la nitrification dans la terre végétale a été l'objet, nous ignorons encore combien une terre cultivée perd d'azote dissous dans les eaux d'infiltration, au cours d'une année, et la raison de notre ignorance, c'est que nous ne savons pas recueillir ces eaux sans porter atteinte à l'état physique du sol, c'est-à-dire sans augmenter par nos manipulations son pouvoir nitrificateur.

Mais ces mêmes eaux, qui nous échappent au moment de leur infiltration, nous les retrouvons finalement dans les rivières, drains naturels où elles aboutissent, et là nous pouvons les puiser sans troubler nulle part la marche de la nitrification; leur analyse doit permettre de mesurer l'azote total ravi par elles aux terrains qu'elles ont traversés. Ainsi, ce même problème, que nous ne savons pas résoudre dans chaque cas particulier, devient soluble dans le cas général où l'on envisage tout l'ensemble des terrains composant le bassin d'un cours d'eau ; la solution donne alors, d'emblée, la perte d'azote par unité de la surface embrassée. Mais, avant d'appliquer cette méthode, il est nécessaire de la discuter à divers points de vue ; c'est ce que je vais faire.

1° Comme celle des eaux de drainage, et avec plus de raison encore, l'analyse pourra être bornée à la détermination de l'acide nitrique. C'est, en effet, le seul composé azoté restant, d'ordinaire, dans les eaux souterraines, au moment où elles se déversent dans les rivières. Quand on lave de la terre végétale avec de l'eau pure, on dissout, outre les nitrates, parfois des traces d'ammoniaque, et toujours de petites quantités de matières organiques azotées, dites *humiques,* qui colorent la dissolution en brun clair. Les eaux d'infiltration ne se comportent pas autrement au contact de la couche superficielle du sol occupée par la végétation, couche qui est le siège essentiel de la formation des nitrates. Mais, à mesure qu'elles s'enfoncent dans le sol et y accomplissent leur trajet, leur azote organique ou ammoniacal est entièrement converti par la combustion lente en azote nitrique, pourvu qu'elles ne soient pas absolument dénuées de carbonate calcaire ou alcalin et qu'elles trouvent dans le terrain parcouru de l'oxygène libre ; c'est le cas très général, puisque les nappes souterraines et les eaux de source sont presque toujours incolores et imprégnées d'oxygène.

Dans certaines circonstances, cependant, l'oxygène fait défaut, par exemple quand les eaux traversent des terrains chargés de débris végétaux constituant des milieux réducteurs qui détruisent les nitrates et changent les sulfates en sulfures ; ou bien quand elles séjournent dans des couches géologiques contenant des minéraux oxydables, comme le silicate de protoxyde de fer des sables verts : les

eaux artésiennes du puits de Grenelle sont précisément dans ce cas ; aussi, d'après l'analyse de Peligot, elles ne contiennent pas trace d'oxygène ni de nitrates, mais, au contraire, du bicarbonate ferreux, preuve de leur passage en milieu réducteur. Ces circonstances sont exceptionnelles, et il me sera permis de n'en pas tenir compte dans une étude qui ne doit conduire évidemment qu'à des évaluations approximatives et non à des mesures précises.

2° On peut se demander si la présence de l'oxygène suffit pour préserver les nitrates de toute destruction, quelle que soit la durée du séjour des eaux dans le sol : ne voit-on pas ces sels servir d'aliment azoté à des organismes divers, dans des conditions de température, d'aération, d'obscurité semblables à celles où se trouvent ces eaux ? Je répondrai qu'il faut à ces organismes, sauf peut-être de très rares exceptions, un aliment carboné, outre l'aliment azoté, et qu'ils ne peuvent plus se développer quand la matière humique a disparu ; les nitrates se conservent alors indéfiniment. Il est possible qu'ils soient mis à contribution par les organismes qui ont pour fonction de consommer la matière organique ; mais comme ces organismes se succèdent de génération en génération depuis un temps immémorial, leur quantité a cessé de croître ; il en meurt autant qu'il en naît, en sorte que la consommation des nitrates par ceux qui se développent est égale à leur reproduction aux dépens de ceux qui sont morts, sous l'action des ferments de la nitrification qui se trouvent partout.

J'admettrai, en conséquence, que les nitrates ne subissent pas de déchet sensible pendant le séjour des eaux dans le sol.

3° Mais il n'en est plus de même quand ils sont parvenus aux rivières, ils y deviennent l'aliment des tourbes, des plantes diverses qui en garnissent les lits et les bords, et des algues qui se multiplient dans leurs eaux ; il se fait ainsi, par la végétation aquatique, une consommation de nitrates qui n'est certainement pas négligeable, mais que personne n'a encore évaluée.

4° Une autre cause d'altération du titre nitrique des eaux de rivière est leur mélange avec les eaux de ruissellement qui, en temps de pluie, s'écoulent à la surface des terrains peu perméables sans s'y infiltrer. Ces eaux ne contiennent guère que la petite quantité de

nitrate d'ammoniaque qu'elles ont rencontrée et dissoute en traversant l'atmosphère ; plus pauvres que celles d'infiltration, elles en abaissent le titre en s'y mêlant.

Il résulte de la discussion précédente que les nitrates contenus dans les eaux souterraines représentent avec une fidélité suffisante l'azote perdu par les sols que ces eaux ont traversés ; mais que, dans les rivières, ils peuvent être consommés par la végétation ou dilués par des eaux étrangères ; par conséquent, pour que la méthode proposée donne des résultats satisfaisants, il est nécessaire que les prises d'eau pour analyse aient lieu en un temps où la végétation et le ruissellement soient nuls. Il est bien rare que ces deux conditions ne se trouvent pas réalisées simultanément au cours d'un hiver.

Elles l'ont été, en particulier, d'une manière exceptionnellement favorable, au mois de février de l'année 1895, si bien qu'elles m'ont suggéré alors les études que je rapporte ici. Quand j'ai pris mes premiers échantillons d'eau, le 9 février, un froid intense régnait depuis plusieurs semaines ; toutes les rivières du bassin de la Seine étaient couvertes de glaçons et il était certain qu'elles étaient exclusivement alimentées par des eaux souterraines dont le titre nitrique ne pouvait être altéré ni par la végétation ni par le ruissellement. Le froid s'étant maintenu jusqu'à la fin de février, il m'a été permis de continuer mes prises d'échantillons pendant une vingtaine de jours.

J'ai puisé l'eau de la Seine en trois points :

Au pont de Montereau, au-dessus du confluent de l'Yonne ;

Au pont de Charenton, au-dessus du confluent de la Marne ;

A Paris, à la hauteur du pont des Invalides.

Les eaux de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise ont été échantillonnées tout près de leurs confluents avec la Seine.

J'ai aussi déterminé l'acide nitrique dans les eaux des sources de la Vanne, de la Dhuis et de l'Avre, dérivées à Paris.

Pour éviter dans le transport des échantillons tout retard pouvant occasionner quelque altération des eaux, j'envoyais sur les lieux des prises un homme de confiance qui me rapportait les échantillons aussitôt après leur prélèvement, et dès son retour, ou au plus tard le lendemain, je procédais aux opérations qui précèdent un dosage d'acide nitrique ; ces opérations consistent à vaporiser, dans un bal-

lon de 2 litres, 4 litres d'eau que l'on réduit au volume de 12 à 15 centimètres cubes ; par filtration, on se débarrasse du précipité de carbonate de chaux et de silice produit au cours de la concentration ; le liquide filtré et les lavages formant un volume d'environ 50 centimètres cubes sont ensuite évaporés à sec, dans une petite capsule de porcelaine, à une douce chaleur ; le résidu obtenu est mis sous cloche, dans une atmosphère desséchée par de la potasse solide, et peut alors attendre, sans danger d'altération, le dosage définitif de l'acide nitrique. J'emploie toujours, pour effectuer ce dosage, le procédé que j'ai décrit en 1856 dans les *Annales de Chimie et de Physique ;* il consiste à réduire en liqueur acide et bouillante l'acide nitrique par le protochlorure de fer, à recueillir le bioxyde d'azote dégagé, auquel on rend ensuite l'oxygène perdu, pour le restituer à l'état d'acide nitrique dosable par l'eau de chaux titrée.

La quantité d'acide trouvée est divisée par 4, pour être rapportée à 1 litre d'eau.

Voici maintenant les résultats que j'ai obtenus :

Seine.

LIEUX des prises.	DATES.	ACIDE NITRIQUE dans 1 litre.		AZOTE équivalent.	
		milligr.		milligr.	
Montereau. . .	16 février.	7,66	7,85	1,99	2,03
	27 —	8,04		2,08	
Charenton. . .	15 —	9,81	10,21	2,55	2,65
	28 —	10,59		2,75	
Paris.	9 —	8,08	8,58	2,09	2,23
	13 —	8,88		2,31	
	19 —	8,67		2,25	
	23 —	8,71		2,26	

Yonne.

Montereau. . .	16 février.	8,54	9,13	2,21	2,36
	27 —	9,73		2,52	

Marne.

Charenton. . .	14 février.	9,01	8,40	2,34	2,18
	28 —	7,80		2,02	

Oise.

Pontoise . . .	19 février.	10,68	10,03	2,78	2,60
	1 mars.	9,38		2,43	

Sources.

LIEUX DES PRISES.	DATES.	ACIDE NITRIQUE dans 1 litre.	AZOTE équivalent.
—	—	—	—
		milligr.	milligr.
Vanne, au débouché dans le réservoir de Montsouris.	4 mars.	10,08	2,61
Dhuis, au débouché dans le réservoir de Ménilmontant.	8 —	11,03	2,86
Avre, au débouché dans le réservoir de Passy.	7 —	11,87	3,08

On remarque tout de suite, en lisant ce tableau, que les titres nitriques de la haute Seine et des trois principaux tributaires du fleuve, tous compris entre $7^{mgr},85$ et $10^{mgr},03$, ne présentent pas de différences bien grandes: en d'autres termes, les eaux pluviales qui, en s'infiltrant dans les bassins des quatre rivières, ont fourni les mélanges d'eaux souterraines analysés, avaient enlevé aux terres végétales traversées des quantités d'azote de même ordre.

L'azote n'est plus aujourd'hui, comme au début de la chimie agricole, la seule mesure de la richesse du sol ; mais il en reste toujours l'élément le plus précieux, et l'on est toujours fondé à penser que les terres les plus fertiles sont aussi celles qui mettent en œuvre le plus de nitrates, et qui par suite en perdent le plus; d'où cette conséquence que les bassins de rivière les plus riches sont en même temps ceux dont les eaux souterraines possèdent les plus hauts titres nitriques. A ce point de vue, s'il n'était pas imprudent de fonder des comparaisons sur quelques résultats d'analyse, il semblerait que le bassin de la haute Seine jusqu'à Montereau et ceux des trois autres rivières, pris dans leur totalité, se classent dans l'ordre décroissant suivant : l'Oise, l'Yonne, la Marne, la haute Seine.

Le tableau ci-dessus montre encore que, du 14 au 28 février, chaque rivière a gardé à peu près un même titre ; cependant, entre ces deux dates, les débits des eaux ont subi une baisse considérable. M. G. Lemoine, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a bien voulu, à ma demande, calculer les débits des quatre rivières aux dates où les prises pour analyse ont eu lieu ; je lui en adresse ici mes plus vifs remerciements. Les débits de la Seine à Paris n'ont pu être mesurés, parce que les embâcles accumulés devant les ponts

ont rendu inapplicables les formules en usage ; mais ceux du fleuve à Montereau, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise aux points de leur cours déjà mentionnés, ont pu être calculés avec une approximation très suffisante pour l'usage que j'en voulais faire ; les voici :

		MÈTRES cubes.	
Haute Seine . .	16 février.	80	par seconde.
	27 —	30	—
Yonne	16 —	30	—
	27 —	30	(barrage relevé en amont).
Marne	14 —	120	par seconde.
	28 —	55	—
Oise	19 —	167	—
	1 mars.	96	—

Ainsi, les débits des rivières, c'est-à-dire des sources et nappes qui les alimentaient, ont baissé de moitié pendant que les titres nitriques demeuraient à peu près constants, comme si la constitution chimique des eaux était indépendante de leurs débits. Nous savons déjà, par les recherches de Belgrand continuées après lui dans les laboratoires de la ville de Paris, que les titres calciques ont une certaine fixité dans les eaux de sources importantes ; cependant, les quantités de sels calcaires, parmi lesquels domine ordinairement le bicarbonate, sont très variables dans les eaux d'infiltration, au moment où elles sortent de la couche de terre végétale ; elles dépendent en effet de conditions naturelles qui varient sans cesse : l'humidité, la température, la tension de l'acide carbonique dans le sol. Il en est de même pour les nitrates ; leur proportion, souvent considérable en été et en automne, quand la nitrification est en pleine activité, devient presque nulle à la fin de l'hiver, après le lavage par les pluies d'une terre trop froide pour nitrifier. Mais, dans les profondeurs du sol, les dissolutions calciques et nitrées formées à des époques différentes se mélangent et constituent une dissolution moyenne de composition à peu près constante ; les variations des titres de la chaux et de l'acide nitrique s'éteignent dans les réservoirs souterrains comme en de vastes régulateurs. Je reviendrai sur ces importants phénomènes dans la suite de ce Mémoire.

Il faut maintenant essayer de calculer, d'après les résultats analy-

tiques que j'ai rapportés, la quantité d'azote perdu en un temps donné, une année par exemple, par l'unité de surface du sol, soit pour un hectare. Dans le calcul, doit évidemment intervenir le volume des eaux souterraines. Nous ne pouvons le déterminer par le jaugeage des débits des rivières, puisque ces débits sont accrus dans une proportion inconnue par les eaux de ruissellement ; mais, au lieu de mesurer les eaux souterraines après leur sortie de terre, nous pouvons et nous allons en faire l'évaluation à leur entrée.

On connaît, pour le bassin entier de la Seine, le seul que je veuille considérer, la hauteur moyenne des pluies, qui est, en nombre rond, de 700 millimètres ; on est moins fixé sur la fraction de cette hauteur qui s'infiltre réellement, pas plus que sur celle qui ruisselle ou est dissipée par l'évaporation ; ces fractions sont d'ailleurs variables d'une année à l'autre. D'après les observations, en trop petit nombre, qui ont été publiées, la première varierait de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{3}$ de la hauteur totale d'eau tombée ; nous allons la supposer successivement de $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, soit 140, 175, 233 millimètres, représentant des volumes de 1 400, 1 750, 2 333 mètres cubes infiltrés par hectare. D'autre part, nous prendrons pour titre nitrique la moyenne $9^{mgr},33$ de tous les dosages qui figurent dans le tableau ci-dessus ; partant de ces données, nous trouvons les nombres suivants :

QUANTITÉ D'EAU infiltrée par hectare.	ACIDE NITRIQUE emporté.	AZOTE correspondant.
mètres cubes	kilogr.	kilogr.
1 400	13,1	3,4
1 750	16,3	4,2
2 333	21,8	5,6

Telles seraient, dans les trois hypothèses, les pertes moyennes d'azote par hectare, dans le bassin de la Seine. Mais, pour être plus près de la réalité, il convient de les estimer plus haut. En effet, le mode d'exploitation du sol a la plus grande influence sur la production des nitrates ; c'est essentiellement dans les terres labourées que la nitrification s'établit ; et l'on admet qu'elle est faible ou nulle dans les sols occupés par les bois, les prairies, les landes. Toutefois, sur ce point, on manque d'observations, et l'on s'en tient à des considérations théoriques. Je ne serais nullement surpris si quelque

observateur démontrait que les bois et les prairies qui couvrent des sols contenant du calcaire, fournissent aux eaux d'infiltration de notables quantités de nitrates. Mais gardons l'opinion générale, et attribuons aux seules terres labourées le pouvoir de nitrifier et, par conséquent, de perdre de l'azote ; elles occupent, d'après la statistique, les deux tiers du territoire agricole ; multiplions donc par $\frac{3}{2}$ les chiffres ci-dessus, pour avoir les pertes moyennes d'un hectare de terre labourée, nous obtenons les chiffres suivants :

QUANTITÉ D'EAU infiltrée par hectare.	ACIDE NITRIQUE emporté.	AZOTE correspondant.
mètres cubes.	kilogr.	kilogr.
1 400	19,6	5,1
1 750	24,5	6,4
2 333	32,7	8,5

Les valeurs de ces pertes en argent sont, en comptant le kilogramme d'azote à 1 fr. 50 :

$7^{fr},65$, $9^{fr},60$, $12^{fr},75$.

Les calculs que je viens de présenter n'ont d'autre prétention que de fournir une première et peut-être grossière approximation de l'évaluation des pertes d'azote ravi par les eaux d'infiltration ; toutefois, ils démontrent que ces pertes sont beaucoup moindres qu'on ne l'admet généralement, en se fondant sur les analyses publiées d'eaux de drainage. Je suis persuadé qu'elles sont plus que balancées par l'absorption spontanée de l'ammoniaque atmosphérique ; j'ai montré, en effet, qu'une terre nue et humide emprunte à l'air, en un mois, 5 kilogr. d'azote ammoniacal par hectare ; sous notre climat, les terres labourées restent, pour la plupart, en cet état, l'hiver, pendant plusieurs mois. Toutes les terres calcaires ou non calcaires, capables de porter des céréales, réalisent à peu près un même gain d'ammoniaque ; mais les pertes d'azote se répartissent très inégalement entre elles ; ces pertes sont proportionnées à l'intensité de la nitrification, et cette intensité est proportionnée à la fertilité des sols ; on peut donc assimiler les pertes d'azote à un impôt proportionnel sur les terres labourables, qui pèse peu sur les pauvres, et ne grandit qu'avec leur richesse.

II. — Variations du titre nitrique pendant treize mois consécutifs dans les eaux de la Seine, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise.

Après avoir déterminé les quantités d'acide nitrique que contenaient, dans les conditions climatériques toutes spéciales du mois de février 1895, les eaux de la Seine et de ses trois affluents principaux, j'ai pensé qu'il serait utile de continuer ces dosages, malgré leur monotonie, au moins pendant une année, afin d'acquérir, sur ce qu'on pourrait appeler le régime nitrique des rivières, des notions que n'ont pu donner jusqu'à présent quelques dosages isolés, sans suite, faits à des dates quelconques. Je vais, dans ce chapitre, présenter et discuter les résultats que j'ai obtenus dans cette voie, du mois de février 1895 au même mois de l'année 1896.

Les échantillons d'eau ont été puisés aux lieux déjà indiqués, savoir:

Pour la Seine, au-dessus de Montereau, au-dessus de Charenton, et, dans Paris, à la hauteur du pont des Invalides ;

Pour les autres rivières, à la fin de leur cours, mais avant leur confluent avec le fleuve.

Les prises, au pont des Invalides, ont été répétées au moins une fois et deux fois le plus souvent, par semaine ; toutes les autres ont été faites à peu près une fois par mois ; on a toujours usé des précautions déjà mentionnées pour éviter toute altération des nitrates.

		YONNE A MONTEREAU.		MARNE A CHARENTON.		OISE A PONTOISE.	
		Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.
		—	— milligr.	—	— milligr.	—	— milligr.
1895	Février . .	16	8,54	16	9,01	16	10,68
—	— . .	27	9,73	28	7,80	»	»
—	Mars . . .	»	»	»	»	1	9,38
—	Avril . . .	9	7,18	10	4,78	11	7,06
—	— . . .	16	6,71	19	5,34	»	»
—	Mai. . . .	9	5,34	10	4,87	11	6,78
—	Juin. . . .	8	4,98	10	3,99	12	6,80
—	Juillet. . .	12	3,98	13	3,86	15	6,65
—	Août . . .	9	3,51	10	3,84	12	6,43

		YONNE A MONTEREAU.		MARNE A CHARENTON.		OISE A PONTOISE.	
		Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.
		—	—	—	—	—	—
			milligr.		milligr.		milligr.
1895	Septembre .	19	3,13	20	3,27	»	»
—	Octobre . .	»	»	»	»	»	»
—	Novembre .	6	5,22	8	5,36	9	7,32
—	Décembre .	13	7,09	14	6,48	16	6,66
1896	Janvier . .	30	9,25	31	7,60	»	»
—	Février . .	»	»	»	»	1	8,96

Seine.

		AVANT MONTEREAU.		AVANT CHARENTON.		AU PONT DES INVALIDES[1].	
		Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.	Dates.	Acide nitrique.
		—	—	—	—	—	—
			milligr.		milligr.		milligr.
1895	Février . .	16.	7,66	15	9,84	19	8,67
—	— . .	27	8,04	28	10,59	28	9,00
—	Mars . . .	»	»	»	»	»	»
—	Avril . . .	9	3,48	10	5,35	10	5,15
—	— . . .	16	5,25	19	6,30	19	6,19
—	Mai. . . .	9	6,07	10	5,81	11	5,57
—	Juin. . . .	8	4,87	10	4,87	10	4,80
—	Juillet. . .	12	4,14	13	4,18	13	4,15
—	Août . . .	9	4,11	10	4,03	10	4,29
—	Septembre .	19	4,38	20	4,09	20	3,85
—	Octobre . .	»	»	»	»	»	»
—	Novembre .	6	5,53	8	6,50	8	6,38
—	Décembre .	13	7,13	14	7,23	14	7,13
1896	Janvier . .	30	7,66	31	9,92	31	8,62
—	Février . .	»	»	»	»	15	8,94

Les résultats inscrits dans ces deux tableaux deviennent plus frappants, quand on les met sous la forme de graphiques, en prenant pour abscisses les dates des prises et pour ordonnées les quantités d'acide nitrique. J'ai dressé de la sorte deux graphiques ; à l'aide du premier, on peut comparer facilement les variations de l'acide ni-

1. Il m'a paru inutile de surcharger le tableau d'une centaine de dosages dans l'eau de Seine puisée au pont des Invalides. Parmi ces dosages, je ne fais figurer que ceux dont les dates correspondent à peu près à celles des dosages effectués dans les eaux puisées à Montereau et à Charenton.

trique dans la haute Seine, l'Yonne, la Marne et l'Oise ; le second fait voir comment cet acide varie dans la Seine en divers points de son cours.

Un coup d'œil sur la figure 1 révèle une concordance assez inattendue entre les variations des titres nitriques dans les quatre rivières ; les titres les plus élevés se sont produits en même temps au mois de février 1895, à la fin de la période des grands froids, quand les rivières étaient exclusivement alimentées d'eaux souterraines ; puis les titres ont subi une baisse rapide, à la suite du dégel survenu en mars et des ruissellements qui en ont été la conséquence. En avril et mai, ils continuent à baisser dans l'Oise et l'Yonne ; ils se relèvent un peu dans la Marne et la haute Seine, pour redescendre bientôt après. Pendant la saison chaude, tous restent voisins de leurs minima. Cependant, l'été de 1895 ayant été passablement sec, les rivières n'ont guère reçu de ruissellements, et leur alimentation s'est faite surtout par les eaux souterraines qui leur ont apporté tout leur approvisionnement de nitrates. Une partie de ces sels a donc disparu, et c'est évidemment la végétation aquatique qui l'a consommée. Ses effets sont d'autant plus manifestes, qu'elle s'exerce dans de moindres volumes d'eau, et que la température est plus élevée, deux conditions qui ont été réalisées d'une façon exceptionnelle pendant le mois de septembre ; la chaleur a été très forte, durant plusieurs semaines, et le débit de la Seine à Paris est tombé à 55 mètres cubes ; de plus, les barrages, en retenant les eaux, prolongeaient singulièrement leur séjour en rivière ; ainsi, la végétation avait, pour consommer les nitrates, toute l'activité possible et tout le temps nécessaire ; il en est résulté que les titres sont alors descendus à leurs limites inférieures. A partir d'octobre, ils sont remontés progressivement, et, en février 1896, ils ont atteint de nouveau, comme en février 1895, des valeurs élevées.

Cette analyse des variations des titres nitriques nous montre comment elles dépendent des conditions climatériques, et nous explique en même temps leur concordance dans les quatre rivières. En effet, les observations des stations météorologiques apprennent que, suivant l'expression de Belgrand, le climat est homogène dans tout le bassin de la Seine ; toute l'étendue de ce bassin est envahie à peu

près en même temps par les pluies, les sécheresses, le froid, la chaleur ; c'est donc en même temps que tous les cours d'eau reçoivent les ruissellements qui atténuent leurs titres, ou sont soutenus par les eaux souterraines qui les élèvent ; c'est en même temps que leurs nitrates éprouvent l'action conservatrice du froid, ou l'action inverse de la chaleur. Ainsi, les conditions climatériques gouvernent le régime nitrique des rivières, aussi bien que leurs crues, leurs basses eaux, leur limpidité, leur température, et, comme elles s'étendent en même temps à tout le bassin de la Seine, dans tout le bassin aussi les régimes nitriques des rivières ont les mêmes allures.

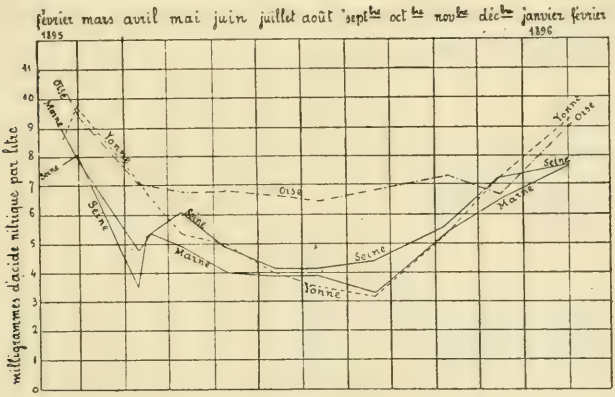


Fig. 1.

Les circonstances qui favorisent les titres élevés se produisent pendant la saison froide (novembre-avril), et celles qui leur sont contraires, pendant la saison chaude (mai-octobre) ; en conséquence, des graphiques dressés comme ceux de la figure 1, pour d'autres années, en présenteraient la forme générale ; mais ils seraient infiniment variés dans les détails, au gré des caprices de l'atmosphère. Si quelque observateur, par exemple, avait exécuté, en 1876, le travail auquel je me suis livré en 1895, tous ses tracés auraient présenté au mois de mars des chutes exceptionnelles, en raison de la crue des cours d'eau dans tout le bassin, qui fut pour la Seine l'une des trois plus grandes depuis le commencement du siècle. Le 17 mars, Belgrand constatait que le débit du fleuve s'élevait à

1 660 mètres cubes, et Boussingault ne trouvait dans ses eaux que la très minime quantité de $1^{mgr},2$ d'acide nitrique par litre.

On voit, par la figure 1, que l'Oise a maintenu son titre entre 6 et 7 milligrammes pendant toute la saison chaude, bien au-dessus de ceux des autres rivières. La richesse agricole du bassin de l'Oise n'est probablement pas sans influence sur cette supériorité ; mais je lui trouve encore une autre cause. Le *Manuel hydrologique du bassin de la Seine* donne, pour chaque bassin partiel important, la hauteur moyenne des pluies et l'étendue des terrains perméables, les seuls qui recèlent les eaux souterraines. En multipliant cette étendue par la hauteur des pluies correspondantes, on obtient la quantité d'eaux pluviales reçues par les terrains perméables de chaque bassin ; on trouve ainsi que

	MILLIARDS de mètres cubes.
Le bassin de la haute Seine, jusqu'à Montereau, reçoit. .	6,4
Celui de l'Yonne	5,0
Celui de la Marne.	7,1
Celui de l'Oise	10,8

En admettant que, chaque année, la hauteur d'eau infiltrée soit à peu près la même pour les divers bassins, on doit croire que le bassin de l'Oise emmagasine plus d'eaux souterraines que les autres ; de fait, cette rivière doit à la constitution de son bassin, composé partout de terrains perméables, sauf près de sa source, de se mieux soutenir pendant l'étiage. Or, si son débit est alors plus considérable que celui des cours d'eau que nous lui comparons, son approvisionnement en nitrates est donc aussi plus considérable, et, toutes choses égales, une même perte de nitrates occasionnée par la végétation doit moins affecter son titre nitrique.

La figure 2 fait voir nettement que, pendant l'hiver, en l'absence de toute végétation, quand la Seine est alimentée par les seules eaux souterraines, son titre nitrique varie sensiblement tout en restant élevé, en divers points de son cours. Le 27 février 1895, je lui ai trouvé le titre de $8^{mgr},04$ à son arrivée à Montereau ; le même jour, l'Yonne me donnait $9^{mgr},75$; elle devait donc par son mélange avec le fleuve augmenter son titre. De plus, entre le confluent de

l'Yonne et celui de la Marne, la Seine reçoit plusieurs affluents dont le principal est le Loing[1], et les nappes souterraines de la riche vallée qu'il traverse ; toutes ces eaux sont encore plus chargées de nitrates que celles de l'Yonne ; aussi, à l'arrivée à Charenton, le titre s'élève le 28 février à $10^{mgr},59$. Mais celui de la Marne est alors seulement de $7^{mgr},8$; cette rivière abaisse donc le titre de la Seine qui n'est plus à Paris, le 28 février, que de 9 milligr. Pendant la saison chaude, les différences que je viens de signaler entre les titres de la haute Seine, de l'Yonne et de la Marne disparaissent ; les bas titres sont très voisins et se confondent presque dans les graphiques ;

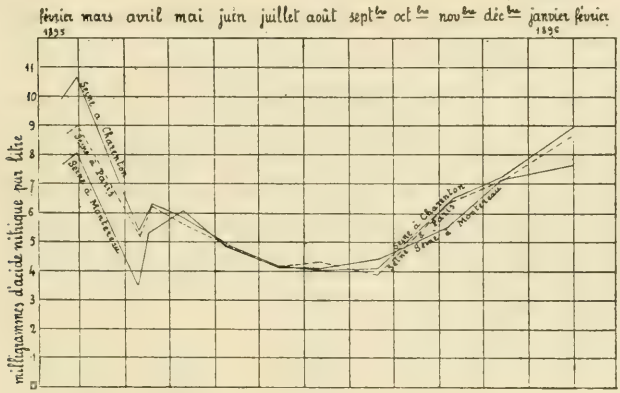


FIG. 2.

mais, à la fin de janvier, quand a repris l'alimentation presque exclusive des rivières par les eaux souterraines, les titres se différencient de nouveau et se classent dans le même ordre qu'en février 1895.

Il serait intéressant de continuer pendant plusieurs années la détermination des plus hauts titres dans toutes les rivières d'une certaine importance tributaires de la Seine, au moment où leurs eaux représentent fidèlement les mélanges des eaux souterraines de leurs bassins. Si, selon l'hypothèse émise au chapitre Ier, la richesse en nitrates de ces eaux va de pair avec la fertilité des sols, une classification des bassins selon les titres nitriques de leurs eaux souterraines

1. On va voir un peu plus loin que cette rivière et l'Essonne sont sensiblement plus riches que la Seine.

devra être conforme, dans une certaine mesure, à la classification selon la richesse agricole dressée à l'aide des documents statistiques publiés par le ministère de l'agriculture.

J'ai commencé cette étude des plus hauts titres des tributaires de la Seine, au mois de février 1896 ; mais, les conditions climatériques venant à changer, il ne m'a plus été permis de la continuer ; je compte la reprendre l'hiver prochain. Voici, en attendant, quelques résultats :

Bassin de la Marne .	18 février.	Grand-Morin, à Esbly . . .	10^{mg},64
		Petit-Morin, à la Ferté . .	8 ,23
— de l'Eure . .	17 —	Blaise, au-dessus de Dreux.	15 ,47
		Avre, à Nonancourt. . . .	12 ,62
— du Loing . .	19 —	Loing, à Moret	11 ,82
— de l'Essonne .	20 —	Essonne, à Corbeil	12 ,10
A la même époque, je trouvais dans la Seine, à Paris.			8 ,10

M. G. Lemoine, avec son inépuisable complaisance, a bien voulu recommencer, pour les débits de la Seine à Paris, aux dates de mes prises d'échantillons, les calculs par lesquels il avait déterminé déjà les débits de la haute Seine, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise en février 1895. Dans le tableau suivant, j'ai placé en regard les titres nitriques et les débits correspondants.

DATES.	TITRES nitriques.	DÉBITS par seconde.
	milligr.	mètres cubes
19 février 1895	8,67	230
28 —	9,00	100
10 avril	5,15	465
19 —	6,19	170
11 mai.	5,57	90
10 juin	4,80	95
13 juillet.	4,15	70
10 août	4,29	80
20 septembre	3,85	55
8 novembre	6,38	80
14 décembre	7,13	350
31 janvier 1896	8,62	225
15 février	8,94	125

Ce tableau ne montre aucune relation apparente entre les titres et les débits, à part la diminution qui affecte les uns et les autres

pendant l'étiage ; il n'en peut être autrement, puisqu'un même débit peut être produit par les mélanges les plus divers d'eaux souterraines et d'eaux de ruissellement, et que, pendant qu'on l'observe, la végétation aquatique peut avoir tous les degrés possibles d'activité. Nous retiendrons seulement cette observation qu'au mois de février 1896, la Seine ne roulant que des eaux souterraines, j'ai trouvé les mêmes hauts titres $8^{mgr},62$ — $8^{mgr},94$ qu'au mois de février 1895, $8^{mgr},67$ — 9 milligr., ce qui confirme l'hypothèse émise au chapitre Ier, d'après laquelle le mélange des eaux souterraines d'un bassin de rivière possède un titre à peu près constant, au moins pendant treize mois consécutifs.

Il est possible que ce titre moyen soit assujetti à des variations lentes, déterminées par la succession en séries des années humides, sèches ou normales ; les progrès dans la culture du sol peuvent aussi l'influencer. Des recherches ultérieures feront connaître l'amplitude de ces variations ; tout ce qu'il est permis de supposer jusqu'à présent, c'est que le titre nitrique des eaux souterraines d'un bassin est exempt de sauts brusques et se soutient à peu près le même au cours d'une année.

III. — L'acide nitrique dans les eaux des sources de la Vanne et de la Dhuis.

Les déterminations de l'acide nitrique dans les eaux de source dérivées à Paris, exécutées d'abord dans le seul but d'ajouter quelques renseignements à ceux que m'avaient donnés les eaux de la Seine, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise, ont pris un intérêt dont je ne me doutais pas d'abord, quand j'ai compris qu'elles pouvaient intervenir utilement comme élément de discussion dans la recherche et le choix des eaux potables.

On sait qu'il y a des distinctions à établir entre les sources : les unes débitent des eaux parfaitement filtrées, bien dépouillées de matière organique après un séjour prolongé dans un terrain oxygéné ; ce sont de vraies sources offrant les meilleures garanties de salubrité. D'autres ne sont évidemment que des issues par lesquelles réapparaissent au jour des rivières qui se sont perdues, en

partie ou en totalité, dans des terrains très perméables ; ce sont de fausses sources, dont les eaux plus ou moins contaminées par une première circulation à la surface du sol, n'ont pas été complètement débarrassées de leurs souillures pendant leur voyage souterrain. D'autres, enfin, ne sauraient être rangées sûrement ni parmi les vraies ni parmi les fausses sources ; elles sont seulement suspectes, parce que l'on peut craindre que leurs eaux, quoique fraîches, limpides et pures en apparence, ne soient des mélanges d'eaux de vraies sources et d'eaux de rivière ou de ruissellement venues par des voies trop rapides, trop larges, qui les ont affranchies d'une parfaite filtration. C'est à distinguer les sources vraies des sources fausses ou suspectes que peut servir l'étude du titre nitrique.

Admettons en effet, provisoirement, que ce titre, dans une vraie source, demeure, sinon constant, du moins compris entre des limites peu écartées. Nous savons qu'il est très faible dans les eaux de ruissellement, et très variable dans une eau de rivière ; si donc une source n'est que la réapparition d'une rivière, ou un mélange en proportions diverses d'eaux souterraines et d'eaux de ruissellement, son titre doit être essentiellement variable. Ainsi, semble-t-il, la nature d'une source peut être reconnue à l'amplitude des variations de son titre nitrique.

Un tel moyen d'information, je tiens à le faire remarquer, ne peut permettre de décider, avec une entière certitude, si l'eau d'une source doit être acceptée ou rejetée comme boisson. L'eau de rivière ou de ruissellement n'est pas nécessairement souillée de germes infectieux, parce qu'elle a coulé quelque temps à la surface du sol ; le serait-elle, que ces germes peuvent être arrêtés en chemin, avant d'arriver à la source, si l'eau rencontre et traverse quelque terrain sableux qui en opère la filtration. Mais les procédés en usage pour l'étude des eaux potables ne sont pas non plus parfaits, bien au contraire ; en certains cas, mais non pas dans tous les cas, ils révèlent la mauvaise qualité de ces eaux, mais ils ne permettent guère d'affirmer qu'elles sont absolument impropres à l'alimentation. Le mode d'examen que je propose fournira un élément de plus pour la solution de la question, élément qui pourra montrer qu'une eau est suspecte, quand les autres méthodes ne l'indiqueraient pas.

Ce n'est pas le moment d'insister sur les services que l'hygiène peut en attendre ; le plus pressé est maintenant de savoir si réellement le titre nitrique d'une vraie source est peu variable.

Je vais étudier à ce point de vue les eaux de la Vanne et de la Dhuis ; j'examinerai plus tard celles de l'Avre qui en diffèrent très nettement.

Grâce à l'autorisation qui m'a été accordée avec empressement par M. Humblot, inspecteur général des ponts et chaussées et directeur du service des eaux, j'ai pu faire les prises d'échantillons aux débouchés mêmes des aqueducs de la Vanne, de la Dhuis et de l'Avre dans leurs réservoirs respectifs de Montsouris, Ménilmontant et Passy.

Dans les deux tableaux qui vont suivre on trouvera les déterminations de la chaux à côté de celles de l'acide nitrique, et l'on se demandera peut-être pourquoi j'ai ajouté le dosage de l'alcali à celui de l'acide ; peut-être aussi voudra-t-on savoir pourquoi, dans une question où les conclusions doivent reposer sur l'analyse chimique, je m'en tiens au dosage de deux éléments, au lieu de les déterminer tous, sulfates, chlorures, bicarbonates alcalins ou terreux, silice, gaz dissous, matière organique. Je répondrai qu'il s'agit uniquement ici de saisir des différences de constitution chimique entre les eaux de source, d'une part, et celles de rivière ou de ruissellement, d'autre part. S'agit-il de différencier les eaux de source de celles de rivière ? Ce sont surtout la matière organique et l'acide nitrique qui les distinguent ; ni la silice, ni les sels autres que les nitrates, ni les gaz dissous ne fournissent des différences qu'on puisse utilement interpréter. Le dosage, précis, direct de la matière organique est une opération trop longue, trop délicate, pour être répétée un grand nombre de fois ; je m'en suis abstenu, ne voulant pas surcharger mes recherches d'un énorme travail. C'est encore l'acide nitrique qui établit une différence essentielle entre les eaux de source et celles de ruissellement ; mais il n'est pas le seul élément à doser ; il convient de déterminer en même temps la chaux, parce qu'elle est bien plus abondante dans les premières et sert dès lors à les distinguer des secondes. J'ai donc toujours dosé cette base, non par le procédé dit *hydrotimétrique*, qui, s'il est très rapide, satisfait peu un analyste, mais par la méthode usuelle qui consiste à l'isoler à l'état d'oxalate insoluble. Voici maintenant les deux tableaux annon-

cés : l'acide nitrique et la chaux y sont exprimés en milligrammes et rapportés à 1 litre d'eau[1].

Vanne.

DATES.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
—	—	—
	milligr.	milligr.
4 mars 1895	10,08	111,2
2 avril	9,86	111,2
18 —	10,14	110,6
28 —	10,16	111,1
13 mai	10,13	113,6
1 juin	9,51	115,8
4 juillet	9,81	116,3
1 août	9,85	117,9
27 —	10,00	115,4
28 septembre	9,81	125,3[2]
28 octobre	10,07	111,3
26 novembre	10,00	112,4
28 décembre	10,70	113,9
29 janvier 1896	11,34	111,3
21 février	10,95	114,3
27 —	10,86	115,4
19 mars	10,57	114,4
13 avril	10,82	113,1

Dhuis.

9 mars 1895	11,30	112,1
18 avril	11,82	112,4
28 —	11,80	112,6
14 mai	11,74	112,4
1 juin	11,65	106,5
4 juillet	11,93	104,8
31 —	11,90	103,3
27 août	10,40	99,8
28 octobre	11,92	94,0
26 novembre	11,80	95,6
28 décembre	11,99	109,2
29 janvier 1896	11,30	106,9
27 février	12,03	103,8
18 mars	11,03	»
13 avril	11,82	118,5

1. L'acide nitrique a toujours été dosé dans le résidu d'évaporation de 4 litres ; la chaux a été dosée dans 1 litre préalablement filtré.

2. Il est probable que ce chiffre est trop fort de 10 milligr. ; dans la lecture du poids, on a dû prendre le poids de 10 milligr. pour le poids de 20 milligr.

Voici les titres moyens de l'acide et de la chaux, et les plus grands écarts en deçà ou au delà de ces titres :

	VANNE.		DHUIS.	
	Acide nitrique.	Chaux.	Acide nitrique.	Chaux.
	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Titres moyens.	10,26	114,2	11,61	106,5
Écarts les plus grands au-dessus des titres. . . .	+1,08	+11,1	+0,42	+12
Écarts les plus grands au-dessous des titres . . .	—0,75	— 3,6	—1,21	—12,25

On voit que l'écart le plus grand est, pour l'acide nitrique, dans les deux eaux, d'environ $\frac{1}{10}$ des titres moyens ; pour la chaux, il est

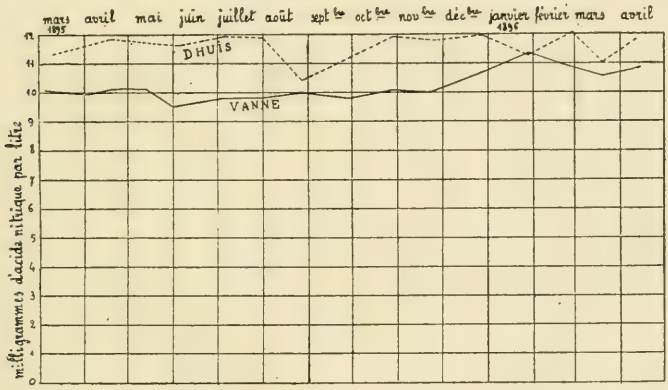


FIG. 3.

un peu moindre dans l'eau de la Vanne, un peu plus grand dans celle de la Dhuis.

Quelques observations intéressantes sont suggérées par la représentation graphique des variations des titres nitriques et calciques dans les deux eaux :

La figure 3 fait voir que les variations du titre nitrique dans l'eau de la Vanne n'ont aucune relation avec celles qu'on observe dans l'eau de la Dhuis ; la figure 4 montre que les variations des titres calciques sont dans le même cas. Il en serait autrement si toutes ces variations étaient sous la dépendance immédiate des circons-

tances climatériques, comme le sont les débits des sources, lesquels en même temps, s'élèvent après les pluies d'hiver ou s'abaissent par l'effet des sécheresses. Elles dépendent probablement des accidents de la surface et de l'intérieur des bassins des eaux : il suffit que ces accidents diffèrent d'un bassin à l'autre pour que les variations qu'ils occasionnent ne concordent ni dans le temps, ni dans leur grandeur.

On n'aperçoit pas davantage de concordance entre les variations du titre nitrique et du titre calcique dans chacune des deux eaux. Elles concorderaient sûrement si, dans une eau de source, les quan-

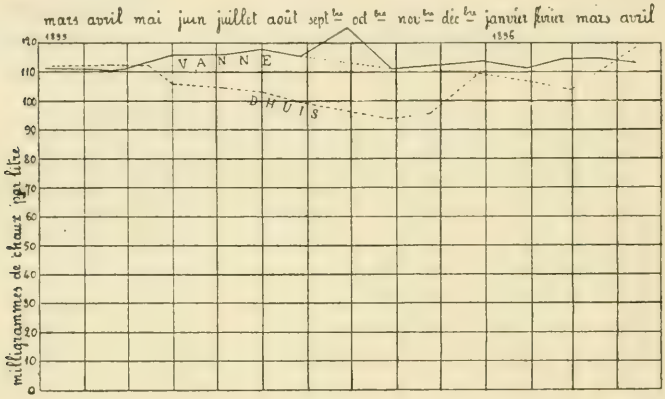


Fig. 4.

tités de nitrates et de sels calcaires, parmi lesquels domine le bicarbonate, se trouvaient toujours dans un rapport constant ; mais nous savons au contraire que les conditions de la formation du bicarbonate de chaux et celles de la nitrification sont fort différentes ; la chaleur développe la nitrification, mais restreint la production du bicarbonate ; le froid arrête la formation des nitrates et favorise celle du sel calcaire ; la sécheresse laisse intacts les nitrates formés et détruit le bicarbonate. Au reste, pendant qu'elles traversent un terrain et y séjournent, les eaux peuvent perdre une partie de leur bicarbonate, ou en acquérir de nouveau, selon que la tension du gaz carbonique diminue ou augmente dans l'atmosphère ambiante, tandis que la quantité des nitrates demeure invariable. De ces expli-

cations il résulte que les titres nitrique et calcique sont indépendants l'un de l'autre ; donc leurs variations ne peuvent être que discordantes.

Il est intéressant de comparer les titres des deux sortes avec les débits des sources. Ces débits sont fréquemment relevés par le service des eaux ; M. Humblot a bien voulu me les communiquer. Dans le tableau suivant, j'ai mis les plus forts et les plus faibles débits, exprimés en litres et rapportés à la seconde, en regard des titres correspondants.

Vanne.

	DATES.	DÉBITS.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
	—	—	—	—
		litres	milligr.	milligr.
Débits les plus forts.	2 avril 1895. . . .	1 533	9,86	111,2
	29 janvier 1896. . .	1 645	11,34	111,3
	21 février	1 583	10,95	114,3
	9 mars.	1 576	10.57	114,7
Débits les plus faibles.	28 septembre 1895 .	1 166	9,81	125,3
	28 octobre.	1 120	10,07	111,3
	26 novembre	1 132	10,00	112,4

Dhuis.

Débits les plus forts.	14 mai 1895. . . .	208	11,74	112,4
	27 août	186	10,40	99,8
	9 mars 1896 . . .	215	11,03	»
Débits les plus faibles.	28 octobre 1895 . .	178	11,92	94,0
	26 novembre. . . .	173	11,80	95,6

Ce tableau montre qu'il n'y a pas de rapport entre les débits des sources et les titres de leurs eaux. Nous avons déjà fait la même observation, après avoir comparé les débits de la Seine en divers points de son cours, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise, avec les titres nitriques trouvés dans ces rivières aux époques où elles étaient exclusivement alimentées d'eaux souterraines exemptes d'altération : pendant que les débits variaient dans le rapport de 2 à 1, les titres restaient à peu près constants, et celui de la Seine à Paris se reproduisait le même, dans des circonstances semblables, à un an d'intervalle. Ainsi, la constance que nous avons trouvée dans des eaux souterraines, mélanges d'eaux d'un grand nombre de sources,

nous la retrouvons maintenant dans les eaux de grandes sources isolées.

Bornons-nous, pour le moment, à enregistrer tous ces résultats d'études analytiques ; nous les interpréterons sans peine à la fin du chapitre qui va suivre.

IV. — Constance de la constitution minérale des grandes sources.

Je vais maintenant essayer d'expliquer pourquoi, dans les eaux des sources importantes, les proportions des éléments minéraux, celles de l'acide nitrique et de la chaux en particulier, doivent demeurer comprises entre des limites rapprochées.

Les géologues divisent les terrains perméables en deux catégories, au point de vue de leurs rapports avec l'eau ; les terrains sableux, et ceux qui sont formés de roches stratifiées ou non. J'adopterai la même division, et m'occuperai d'abord des terrains sableux, non sans faire observer que le mot *sableux* veut dire composé de menus débris de roches, y compris le calcaire fin et l'argile plus fine encore, aussi bien que les sables proprement dits ; il ne signifie pas, comme pourrait le croire un agriculteur, que ces menus débris sont entre eux sans cohésion.

Je considère donc un terrain sableux, en son état d'humectation normale, celui auquel il revient quand il s'est ressuyé spontanément après une sursaturation passagère. Survient une pluie qui occasionne une nouvelle infiltration d'eau ; si le terrain était absolument gorgé d'eau, que tous les interstices entre ses éléments en fussents remplis, personne ne douterait que ce nouvel apport ne déterminât un mouvement général de toute la masse liquide, de façon qu'il sortît par le bas du terrain autant d'eau qu'il en serait entré par le haut. Mais je suis en présence d'un terrain ressuyé, c'est-à-dire dont tous les éléments, mouillés à la vérité d'une mince couche d'eau, laissent place cependant dans leurs interstices aux gaz de l'atmosphère ; c'est un état très différent de celui de la saturation complète, état, d'ailleurs, qui est normal dans toute l'épaisseur d'un terrain sableux comprise, en remontant, entre la nappe sou-

terraine où aboutissent toutes les infiltrations, et la couche de terre où l'appel de l'eau vers la surface pour les besoins de l'évaporation ne se fait plus sentir. Néanmoins, les mouvements de l'eau sont les mêmes dans un terrain ressuyé que dans celui qui serait exactement rempli ; une nouvelle infiltration y produit encore un déplacement général qu'on se représentera fidèlement en supposant l'existence d'une multitude de tranches égales et parallèles à la surface se transmettant de l'une à l'autre le liquide qui les imbibe, de manière que l'eau qui sort du terrain est précisément celle qui occupait la tranche la plus basse.

Je n'en dirai pas plus sur le mécanisme de ce phénomène ; je l'ai décrit et expliqué sous le nom de *déplacement* dans les *Contributions à l'étude de la chimie agricole* (Encyclopédie de Frémy). Je m'en suis servi pour extraire de diverses terres végétales, sans altération ni dilution, les dissolutions qui s'y trouvaient contenues. Mais il faut que je signale ici l'importance capitale de son rôle dans la purification des eaux par le sol : en réglant les mouvements des infiltrations de manière qu'elles se suivent méthodiquement selon l'ordre de leurs dates, il les oblige à séjourner dans le sol, au contact de l'oxygène et des organismes purificateurs, pendant des temps à peu près égaux, suffisants pour la complète épuration. Il n'en serait plus ainsi, et la pureté des eaux serait compromise, si certaines de ces infiltrations, précipitant leurs mouvements, et devançant les autres, pouvaient arriver à la source avant le temps voulu.

Ces notions si simples, si élémentaires, je les ai inutilement cherchées dans les meilleurs ouvrages d'hydrologie. Dans l'étude des mouvements de l'eau, les auteurs ne tiennent guère compte des différences de constitution dues aux matières dissoutes, encore moins du déplacement des dissolutions successivement formées par les infiltrations ; pour eux, semble-t-il, l'eau est partout un même liquide, dont ils n'analysent pas le mode de cheminement dans les sols. Cette absence de distinctions est la cause d'erreurs très répandues : combien de gens, par exemple, qui, voyant une source grossir après des pluies, s'imaginent que l'eau sortant de terre sous leurs yeux est précisément celle que ces pluies ont apportée, et qui partent de là pour calculer le temps qu'elle a mis à se transporter de

la surface du sol jusqu'à la source ! Ce temps est, en réalité, celui de la *propagation* du déplacement, c'est-à-dire de la transmission, de l'une à l'autre des tranches dont il a été déjà question, des excédents d'eau qu'elles ne peuvent retenir. Confondre la propagation du déplacement avec le transport effectif d'une même quantité d'eau, de l'origine à la fin de l'espace occupé par les infiltrations, c'est à peu près donner à toute une masse liquide la vitesse d'une onde qui court à sa surface.

Les eaux souterraines ne vont pas si vite ; dans les terrains d'où sortent les sources, elles séjournent beaucoup plus longtemps et se meuvent beaucoup plus lentement qu'on ne pense. Voici un calcul très simple, propre à fixer les idées sur ce point. Supposons que la densité apparente d'un terrain soit de 1,5, c'est-à-dire que, sous le volume de 1 litre, il pèse $1^{kgr},5$, et que sa capacité d'humectation normale, en d'autres termes, que la proportion d'eau qu'il peut retenir après ressuyage, soit de 10 p. 100 de son poids ; ces hypothèses ne sont nullement exagérées. Supposons encore que la hauteur des pluies soit pour une année de 600 millimètres, dont le tiers s'infiltre dans le sol. Une tranche de terrain de 1 mètre d'épaisseur retiendra une tranche d'eau de $0^{m},10 \times 1,5$ ou $0^{m},15$ d'épaisseur : donc, pour retenir une tranche de $\frac{600^{mm}}{3}$, il suffira d'une tranche de terrain de $1^{m},33$; en sorte qu'avec une épaisseur de 10 mètres seulement au-dessus d'une source, ou plutôt au-dessus de la nappe souterraine qui l'alimente, le terrain emmagasinera les eaux d'infiltration de plus de sept années, ce qui veut dire que ces eaux mettront tout ce laps de temps à descendre de sa surface jusqu'à la nappe.

Après cette digression sur le jeu et l'importance du *déplacement*, je reviens au terrain sableux que j'envisageais ci-dessus, et reprends ma démonstration interrompue : il s'agit de mettre en évidence les circonstances qui tendent à unifier la constitution des eaux des grandes sources, en déterminant le mélange d'infiltrations datant d'époques différentes.

Les apports successifs des pluies forment dans la couche végétale autant de dissolutions qui s'en échappent à tour de rôle en empor-

tant des quantités très diverses de nitrates, de bicarbonate calcaire et autres sels. Ces dissolutions descendent dans le sol en se déplaçant, et conservent d'abord leurs différences ; aussi trouve-t-on des variations considérables de composition, surtout en ce qui concerne les nitrates, dans les eaux de drainage ordinaires, qui sont recueillies, à la faible profondeur de $1^m,2$ à $1^m,5$, dans une canalisation parallèle à la surface du terrain et alimentée partout en même temps de dissolutions contemporaines. Mais les déplacements ne s'opèrent pas avec une précision mathématique ; à mesure qu'ils se multiplient par leur progrès en profondeur, les dissolutions successives subissent d'inévitables mélanges qui sont évidemment une première cause d'unification de la constitution des eaux.

En voici une autre d'un effet plus assuré.

Que les dissolutions se mêlent ou non en se déplaçant, on peut toujours diviser le terrain par la pensée en tranches successives contenant chacune une des dissolutions ; or, dans un terrain sableux, toutes les infiltrations aboutissent à une nappe continue, dont la surface, modelée selon le relief du sol, est nécessairement inclinée partout vers une issue, c'est-à-dire une source. En raison même de son inclinaison, cette nappe coupe un certain nombre de tranches du terrain, et en reçoit des dissolutions de constitutions et d'âges

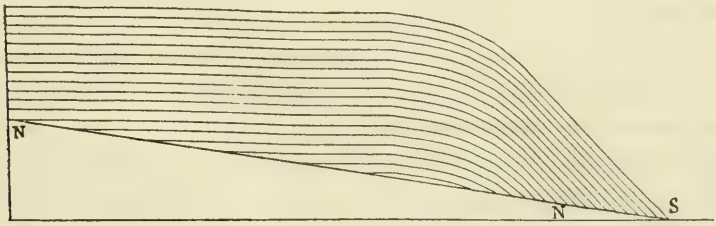


Fig. 5.

différents dont elle opère le mélange. C'est ce que représente la coupe ci-dessus (fig. 5) d'une portion d'un bassin de source, où l'on a figuré des tranches, une source S et une nappe N.

Plus la source est importante, plus son bassin a d'étendue, et plus loin se prolongent les pentes diverses de la nappe ; plus grand est le nombre de tranches coupées et de dissolutions mêlées ; plus les

proportions des éléments variables, comme l'acide nitrique et le bicarbonate de chaux, tendent vers des valeurs constantes. Quand on compare la faible hauteur de terrain qui suffit pour emmagasiner les infiltrations d'une année à la hauteur bien plus considérable des points culminants de la nappe au-dessus de la source, on conçoit que cette nappe reçoive et mêle des infiltrations datant de saisons et même d'années différentes, et qu'ainsi les variations de l'intensité de la nitrification et de la formation du bicarbonate de chaux se fondent dans le mélange final qui constitue l'eau de source.

Quand le relief du bassin d'une source est accidenté, et c'est le cas général, les distances que les infiltrations ont à parcourir pour

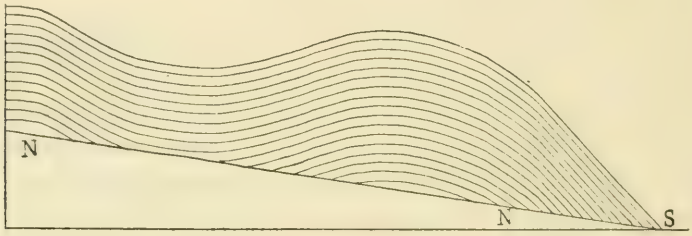


Fig. 6.

se rendre à la nappe sont d'autant plus différentes que les dénivellations sont plus accentuées, ainsi qu'on le voit dans la figure 6.

En conséquence, les âges des dissolutions arrivant en même temps dans la nappe sont plus variés, et l'unification de constitution des eaux s'en trouve mieux assurée.

Le défaut d'homogénéité dans le terrain tend à produire le même effet : on sait que de menus débris de roches retiennent, après ressuyage, des quantités d'eaux très différentes, selon leurs dimensions. Du sable grossier qui traverse les mailles d'un tamis de 1 millimètre, mais ne passe pas à travers celles de $0^{mm},5$, retient environ 3 p. 100 de son poids ; cette proportion s'élève à mesure que le sable devient plus fin, et monte jusqu'à 15-18 p. 100 quand il est mêlé d'argile, sans toutefois cesser d'être perméable. Ainsi, sous une même épaisseur, un terrain graveleux contient quatre, cinq, six fois moins d'eau qu'un terrain sablo-argileux, c'est-à-dire que les infiltrations

s'y meuvent quatre, cinq, six fois plus vite. Si donc le bassin d'une source est formé en certains points d'éléments grossiers, en d'autres d'éléments fins, les dissolutions sortant en même temps de la couche végétale descendront avec des vitesses inégales et gagneront la nappe à des époques différentes; en d'autres termes, celles qui atteindront la nappe en même temps remonteront à des époques différentes.

En résumé, dans les terrains sableux, le déplacement systématique des infiltrations, leur mélange partiel pendant leur descente, l'inclinaison de la nappe souterraine, les accidents du relief du sol et le défaut d'homogénéité sont autant de conditions qui tendent à unifier la constitution minérale des eaux des grandes sources.

Le type de terrain envisagé jusqu'ici n'est pas le plus répandu, ni le plus propre à fournir les sources importantes, les seules que j'étudie, parce qu'elles sont seules recherchées pour l'alimentation des villes. Les grands réservoirs d'eaux souterraines se trouvent, comme on sait, dans les massifs de roches fissurées, dont le régime hydrologique ne ressemble guère à celui que je viens de décrire; autant l'un est simple et se prête à l'analyse des mouvements de l'eau, autant l'autre est varié et échappe à la description. Mais ces différences n'empêchent pas le mélange des dissolutions formées à des époques très variées d'être encore réalisé dans les terrains fissurés.

Il faut remarquer d'abord qu'un massif fissuré qui alimente une source importante s'élève au-dessus d'elle à une altitude considérable, témoin le plateau d'où sortent les eaux de la Vanne, ce qui lui permet d'emmagasiner les infiltrations d'un assez grand nombre d'années. Il les répartit entre ses assises, dans les fissures, les canaux, les bassins, en un mot dans les vides dont il est criblé de toute part. Ces vides, de formes et de dimensions indéfiniment diverses, sont évidemment associés en séries, de manière à former, de la surface du terrain à la source, les chemins les plus variés : les uns plus courts et plus directs, la plupart très longs et accidentés de toutes les façons, aboutissant tous à une conalisation ramifiée terminée par la source. Il n'y a plus ici de nappe souterraine continue; elle est remplacée par des bassins et des canaux situés à des

niveaux différents et communiquant entre eux. Mais, quelle que soit la complication d'un tel appareil, le régime hydrologique, une fois établi, y demeure constant ; je veux dire que les chemins tracés ne changent pas, au moins dans l'espace de quelques années ; quel que soit le mode de logement des eaux, qu'elles occupent les interstices de matériaux pulvérulents, ou mouillent des fissures, ou dorment dans des creux petits ou grands, leur déplacement progressif s'effectue néanmoins à chaque infiltration nouvelle ; par conséquent, elles séjournent dans le terrain aussi longtemps qu'il est nécessaire pour leur épuration ; de plus, le mélange des dissolutions différentes effectué pendant leur parcours, la variété des routes qu'elles suivent, les différences de niveaux dans la canalisation dernière qui les reçoit, les accidents du relief du sol sont cause que des infiltrations produites au cours d'une longue période de temps arrivent en même temps à la source ; en sorte que l'unification de la constitution des eaux tend à se réaliser dans un terrain fissuré comme dans un terrain sableux.

Je ne terminerai pas ce chapitre sans faire observer que tous mes raisonnements supposent qu'une source tire son alimentation d'un vaste terrain situé au-dessus d'elle et pénétré à la fois par les infiltrations des pluies et des gaz de l'atmosphère. Les eaux sont alors assujetties à des mouvements, simples dans les terrains sableux, compliqués dans les terrains fissurés, mais se réduisant dans tous les cas à ces déplacements méthodiques sur lesquels j'ai fait reposer leur épuration et leur homogénéité. Mes démonstrations ne s'appliquent ni aux petites sources, ni aux eaux artésiennes, encore moins aux eaux minérales. Les bassins des petites sources sont trop exigus pour jouer le rôle de régulateurs. Les eaux artésiennes ont expulsé les gaz des couches perméables qui les emmagasinent ; elles obéissent dès lors à des pressions qui leur font suivre les chemins de moindre résistance ; en de telles conditions, il ne peut plus être question de déplacements méthodiques, au moins dans la couche de terrain proprement artésienne. Quant aux eaux minérales, leur parcours dans les profondeurs est encore plus ignoré que celui des eaux artésiennes ; elles échappent encore mieux aux considérations théoriques que je viens de présenter.

Revenant maintenant aux faits acquis dans les précédents chapitres, relativement à la constitution à peu près constante et indépendante des débits observée soit dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis, soit dans les eaux de rivière en l'absence de la végétation et des ruissellements, on voit de suite que, pour les expliquer, il suffit d'admettre que les sources de la Vanne et de la Dhuis sont de vraies sources; il suffit d'appliquer au bassin entier d'une rivière les considérations dont le bassin d'une seule source a été l'objet dans ce chapitre.

V. — L'acide nitrique et la chaux dans les eaux des sources de l'Avre.

Le 8 mars 1895, un premier dosage de l'acide nitrique et de la chaux dans l'eau de l'Avre me donnait :

Acide nitrique.	$11^{mgr},87$
Chaux.	87 ,6

Un second dosage, fait le 4 avril, réduisait ces chiffres aux suivants :

Acide nitrique.	$6^{mgr},67$
Chaux.	66 ,6

Pendant que survenaient ces grandes variations, les titres nitrique et calcique restaient à peu près constants dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis; je résolus dès lors de suivre de près les variations de ces titres dans l'eau de l'Avre, et j'en vins bientôt à y faire des dosages hebdomadaires.

Le tableau suivant représente tous les résultats obtenus du 8 mars 1895 au 29 avril 1896.

DATES.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
—	—	—
	milligr.	milligr.
8 mars 1895.	11,87	87,6
4 avril	6,67	66,6
16 —	8,57	76,4
23 —	10,21	81,5
29 —	10,59	84,1

DATES.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
—	—	—
	milligr.	milligr.
10 mai 1895	9,51	80,2
17 —	10,78	87,8
24 —	11,40	88,7
31 —	11,15	87,7
12 juin	11,75	89,8
18 —	12,17	91,7
25 —	12,29	92,4
2 juillet	12,56	92,7
9 —	12,41	93,5
16 —	12,65	94,2
23 —	12,80	»
30 —	12,49	94,2
6 août	11,78	91,8
13 —	11,25	90,7
20 —	11,54	92,1
27 —	11,40	93,2
3 septembre	12,27	93,5
10 —	12,63	93,7
17 —	12,57	95,9
25 —	12,39	93,6
2 octobre	12,61	94,6
9 —	12,64	95,1
16 —	11,98	»
23 —	11,92	92,6
30 —	12,21	95,0
5 novembre	11,84	»
13 —	11,84	93,8
20 —	10,59	90,9
27 —	10,90	90,0
4 décembre	10,17	87,0
11 —	10,51	86,2
18 —	10,24	86,4
26 —	10,40	»
2 janvier 1896	10,20	78,4
8 —	10,01	78,5
15 —	10,38	83,8
22 —	10,07	82,9
29 —	9,84	82,4
5 février	10,01	84,5
12 —	10,75	84,7
19 —	10,53	86,0
27 —	9,85	83,9
4 mars	10,04	83,1
11 —	8,90	80,5

DATES.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
—	—	—
	milligr.	milligr.
18 mars	8,08	73,2
25 —	8,74	76,1
1 avril	9,84	83,0
8 —	8,28	78,8
15 —	9,15	83,1
22 —	7,96	78,1
29 —	8,27	80,5

Voici les titres moyens et les plus grands écarts au delà ou en deçà :

	ACIDE nitrique.	CHAUX.
	—	—
	milligr.	milligr.
Titres moyens	10,84	86,3
Plus grands écarts au-dessus des titres moyens.	+1,96	+ 9,6
Plus grands écarts au-dessous des titres moyens.	—4,17	—19,7

Le plus grand écart pour l'acide nitrique est à peu près de 4/10 du titre moyen, et, pour la chaux, de 2,3/10. L'un et l'autre dépassent beaucoup ceux que j'ai trouvés pour les eaux de la Vanne et de la Dhuis.

Voici encore d'autres nombres concernant les débits des sources et les titres correspondants :

	DATES.	DÉBITS.	ACIDE nitrique.	CHAUX.
	—	—	—	—
		litres	milligr.	milligr.
Débits les plus forts.	4 avril 1895	1 436	6,67	66,6
	10 mai	1 296	9,51	80,2
Débits les plus faibles.	16 octobre	792	11,98	»
	5 novembre	739	11,84	»
	4 décembre	792	10,17	87,0

Lorsque nous avons comparé les titres nitrique et calcique des eaux de la Vanne et de la Dhuis aux débits des sources, nous n'avons trouvé entre eux aucune relation apparente; il n'en est plus ainsi pour les eaux de l'Avre; sans être mathématiquement en raison inverse, les titres et les débits varient en sens contraires. Le plus fort débit, observé le 4 avril 1895, correspond précisément au moindre titre, et l'on peut constater, d'une manière générale, que les titres se sont élevés pendant la période estivale (mai-octobre),

qui a été celle des débits moyens ou faibles, et abaissés pendant la saison froide (novembre-avril), période de débits plus élevés.

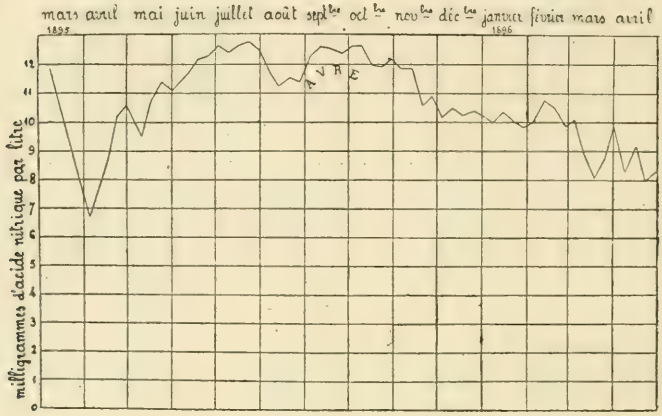


Fig. 7.

Les graphiques (fig. 7 et 8) construits en prenant les titres pour ordonnées et les temps pour abscisses sont très instructifs.

On remarque dans le graphique des titres nitriques une grande

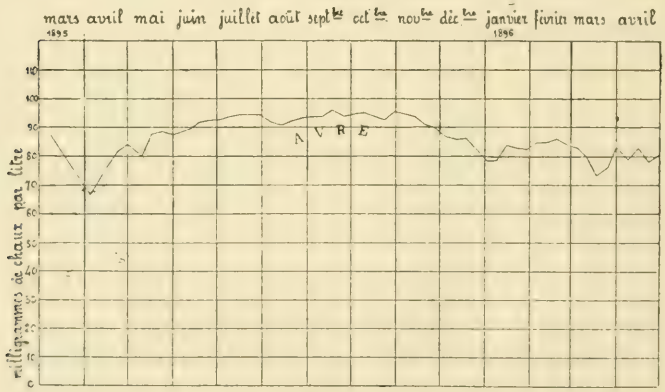


Fig. 8.

dépression, le 4 avril, qui pourrait bien être la conséquence du dégel survenu en mars, après les grands froids de février. Une dépression moindre, mais considérable encore, se voit en mars et avril 1896, à la suite des pluies abondantes qui ont fait déborder la

Seine, à Paris, vers le 15 mars ; on en trouve encore une en août, après un mois de juillet qui a été le plus humide de l'année, à Verneuil (87 millimètres).

On remarque encore une similitude frappante entre le graphique des titres nitriques et celui des titres calciques, similitude à laquelle on n'a pas été préparé par les graphiques analogues fournis par la Vanne et la Dhuis, où l'on ne peut saisir aucun rapport entre les quantités correspondantes d'acide et de chaux. Non seulement l'allure générale des deux graphiques de l'Avre est la même, mais encore leur concordance se manifeste souvent dans les moindres détails.

Ainsi, l'eau de l'Avre diffère, sous plusieurs rapports essentiels, de celles de la Vanne et de la Dhuis :

Les quantités d'acide nitrique et de chaux y sont en relation avec les débits des sources ; elles diminuent quand les débits augmentent et augmentent quand les débits diminuent ; les sources de la Vanne et de la Dhuis sont exemptes de toute relation entre les titres et les débits ;

Les variations des quantités d'acide nitrique et de chaux sont beaucoup plus importantes dans l'eau de l'Avre que dans celles de la Vanne et de la Dhuis ;

Les quantités d'acide et de chaux ne sont plus indépendantes les unes des autres dans l'eau de l'Avre, comme dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis ; elles sont, au contraire, liées par une remarquable concordance de leurs variations.

Je ne trouve à ces différences si manifestes qu'une seule explication :

L'eau de l'Avre doit être un mélange, en proportions très variables, de deux sortes d'eaux :

L'une, de même genre que celles de la Vanne et de la Dhuis, serait fournie par les infiltrations des pluies et leurs déplacements successifs dans les terrains qui constituent son bassin ; elle serait pure ; ses titres nitrique et calcique, peu variables, s'élèveraient au moins jusqu'aux plus hautes valeurs trouvées par mes analyses :

Acide nitrique	$12^{mgr},8$
Chaux	95 ,1

L'autre eau contiendrait beaucoup moins d'acide et de chaux ; sa proportion dans le mélange augmenterait à la suite des pluies, diminuerait à la suite des sécheresses.

Les faits observés s'accordent très bien avec cette hypothèse :

Il est bien évident, d'abord, que la baisse des titres sera d'autant plus rapide, d'autant plus marquée, que l'eau pauvre arrivera aux sources en moins de temps et en plus grande abondance ; inversement, les titres se relèveront d'autant plus que la proportion de l'eau pauvre sera plus faible ; ils atteindront leurs valeurs les plus hautes si l'apport d'eau pauvre devient nul. Ainsi sont expliqués à la fois le rapport inverse entre les titres et les débits, et la grande amplitude des variations des titres. Quant à la concordance entre les allures des graphiques nitrique et calcique, elle résulte encore de l'hypothèse, mais, pour s'en bien rendre compte, il faut y regarder de plus près. Si l'eau riche et l'eau pauvre avaient des titres nitrique et calcique invariables, il est incontestable que, dans tous leurs mélanges, les deux titres s'élèveraient ou s'abaisseraient en même temps, en raison des proportions relatives des deux eaux ; les variations seraient toujours de même sens, toujours concordantes. Mais les titres ne sont pas absolument constants dans ces eaux ; ils y éprouvent des variations de l'ordre de celles que j'ai trouvées dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis ; par conséquent, les variations des titres dans les mélanges ne dépendent pas seulement des proportions des deux eaux, mais encore des variations de titre qui leur sont particulières. Si la différence entre les proportions des deux eaux est suffisamment grande, son effet l'emporte sur celui des variations de titre particulières, et les variations dans les mélanges sont alors concordantes ; c'est ce qui explique la similitude d'allure des deux graphiques : au cours d'une année, sous l'influence des pluies et des sécheresses, le rapport entre les volumes des deux eaux dans les mélanges varie entre des limites tellement écartées, que les variations de titres qui lui sont dues couvrent les variations propres à chaque eau. Mais, dans les détails des graphiques, la concordance peut fort bien faire défaut ; par exemple, entre deux prises d'eau successives, si la proportion des deux eaux est restée constante, les variations propres à chaque eau régleront seules les varia-

tions dans le mélange et celles-ci seront discordantes, quand celles-là seront de sens contraire. Mais on peut constater, par l'étude des deux graphiques, que ce cas a été assez rare ; presque partout, on y voit les deux titres varier, d'une semaine à la suivante, dans le même sens.

On voit que l'hypothèse d'après laquelle l'eau de l'Avre serait un mélange de deux sortes d'eaux, l'une comparable à celles de la Vanne ou de la Dhuis, l'autre particulièrement pauvre en nitrates et bicarbonate calcaire, explique si bien les faits observés qu'il est difficile de ne pas en faire la réalité. La question se pose donc, au point de vue de la salubrité, de savoir d'où vient l'eau pauvre. Serait-ce une eau de vraie source, filtrée et épurée, comme celle qui proviendrait de terrains dont la surface, occupée par des landes, des bois, serait peu propice à la nitrification et à la formation du bicarbonate de chaux ? En ce cas, les deux eaux, différant seulement par leurs titres nitrique et calcique, auraient des régimes semblables ; leurs débits s'élèveraient ou s'abaisseraient parallèlement, sous l'influence des mêmes conditions climatériques ; on ne verrait pas, dans leurs mélanges, les titres et les débits varier en sens inverses ; on ne verrait pas non plus, dans les graphiques nitrique et calcique, ces variations brusques et considérables qui accusent d'autres variations aussi brusques, aussi considérables, dans le rapport entre les débits des deux eaux.

Il est beaucoup plus probable que l'eau pauvre est simplement de l'eau de ruissellement rapidement absorbée en certains lieux et arrivant aux sources peu de temps après son absorption. La relation inverse entre les débits et les titres, la grande étendue et la rapidité des variations de ces titres s'expliquent très bien par l'abondance subite des ruissellements pendant les dégels et les pluies prolongées ; cette abondance, qui se produit surtout pendant la saison froide, explique encore la baisse générale des titres observée l'hiver, et leur relèvement pendant l'été.

Je ne veux pas quitter ce sujet sans faire observer que ni les expériences bien connues de M. Feray ni mes analyses ne démontrent que les ruissellements souillent effectivement les eaux souterraines qui sont le principal aliment des sources captées. Il n'est pas dit que

ces ruissellements rencontrent des germes nocifs à la surface des terrains qu'ils lavent; s'ils en rencontrent, peut-être les abandonnent-ils dans les terrains sableux placés sur leur chemin. Mais, quoi qu'il en soit, on reconnaîtra que les résultats de mes analyses sont moins satisfaisants pour l'Avre que pour la Vanne et la Dhuis; et, s'il m'était permis d'avoir un avis sur le degré relatif de pureté des eaux conduites à Paris, je l'exprimerais en disant que je continuerai à boire l'eau de la Vanne et celle de la Dhuis, sans aucune inquiétude, telles qu'elles sont distribuées, et que je voudrais maintenant ne boire de l'eau de l'Avre qu'après son passage dans un bon filtre.

Je rapporterai, en terminant, une observation faite au cours de toutes ces études. J'ai déjà dit que j'emploie, pour un dosage d'acide nitrique, 4 litres d'eau réduits par l'action de la chaleur au volume de quelques centimètres cubes. Quand j'opère avec l'eau de l'Avre, je puis toujours poursuivre et achever la concentration dans un même ballon d'environ 2 litres, malgré la formation du précipité de carbonate de chaux; ce précipité est toujours plus ou moins jaune, ainsi que l'extrait sec qui contient les nitrates. L'eau de la Dhuis est, le plus souvent, dans le même cas que l'eau de l'Avre; seulement le précipité et l'extrait sec sont de nuance plus claire. Mais, parfois, il devient impossible de vaporiser les 4 litres dans un même ballon, tant sont violents les soubresauts produits par le dépôt calcaire; alors celui-ci est d'un blanc pur, et l'extrait est incolore. En pareil cas, je fais deux parts de mes 4 litres, et je les fais bouillir dans deux ballons, jusqu'à formation intégrale du précipité calcaire; je laisse reposer, puis je décante les liquides successivement dans un troisième ballon où je les vaporise. C'est toujours ainsi que je suis obligé d'opérer quand j'ai affaire à l'eau de la Vanne; avec elle, j'ai toujours un précipité calcaire cristallin et un extrait incolore.

Ces différences tiennent à la présence de la matière humique, qui se précipite avec le carbonate de chaux, en habille les grains, les empêche de se souder et les maintient à l'état de poudre fine restant en suspension dans le liquide bouillant. J'ai constaté que 1 centimètre cube d'extrait de terreau contenant $0^{mgr},4$ de matière humique, ajouté dans chaque litre d'eau de Vanne, permet d'en

vaporiser 4 litres dans un même ballon, sans danger de rupture. Ainsi, l'on peut dire que l'eau de Vanne ne contient pas trace sensible de matière humique ; l'eau de la Dhuis est parfois aussi belle, mais elle contient souvent quelque trace de cette matière. On en trouve toujours dans l'eau de l'Avre, plus que dans l'eau de Dhuis, mais néanmoins en très faible quantité.

VI. — Résumé.

1. — *Entraînements d'azote par les infiltrations des pluies.*

Dans la plupart des cas, l'azote ravi à la terre végétale par les infiltrations des pluies se retrouve intégralement à l'état d'acide nitrique dans les eaux souterraines provenant de ces infiltrations; les eaux souterraines se retrouvent mélangées dans la rivière qui les reçoit; leur titre nitrique moyen est donc celui des eaux de la rivière, à la condition qu'il soit déterminé aux époques où il ne peut être altéré ni par la végétation aquatique ni par les eaux de ruissellement. De telles époques se rencontrent presque toujours au cours d'un hiver.

Étudiées à ce point de vue pendant les grands froids du mois de février 1895, la Seine, au-dessus de Montereau et à Paris, l'Yonne, la Marne, l'Oise, un peu au-dessus de leurs confluents, ont fourni des doses d'acide nitrique comprises entre $7^{mgr},85$ et $10^{mgr},03$ par litre.

Dans chaque rivière la dose d'acide nitrique est restée à peu près la même, pendant que le débit des eaux variait dans le rapport de 2 à 1; on l'a retrouvée la même un an après, lorsque la végétation aquatique et les ruissellements ont été de nouveau suspendus par le froid. On doit inférer de là que le titre nitrique moyen des eaux souterraines d'un bassin de rivière est à peu près constant, au moins pendant le cours d'une année.

Pour estimer la perte annuelle d'azote que subit le bassin d'une rivière, il faut connaître, outre le titre nitrique moyen, le volume des eaux souterraines débitées en un an. Ce volume ne peut être mesuré ni directement, ni par le débit de la rivière qui est augmenté,

dans une proportion inconnue, par les ruissellements ; mais, à défaut de mesure des infiltrations à la sortie de terre, on peut les estimer à leur entrée, d'après la fraction de la hauteur annuelle de pluies réellement infiltrée : cette fraction étant comprise entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{3}$ de 700 millimètres dans le bassin entier de la Seine, on trouve qu'en moyenne chaque hectare perd de $3^{kgr},4$ à $5^{kgr},6$ d'azote ; et si l'on attribue la perte d'azote aux seules terres labourées, elle est alors comprise entre $5^{kgr},1$ et $8^{kgr},5$.

Malgré cette augmentation, elle demeure beaucoup moindre qu'on ne le supposerait d'après les déterminations publiées jusqu'ici d'acide nitrique dans les eaux de drainage. Elle varie d'ailleurs en raison de la richesse des champs, ce qui en fait une sorte d'impôt proportionnel qui pèse peu sur les terres pauvres, et ne devient sensible que pour les terres riches en état de la supporter.

II. — *Régime nitrique dans les rivières.*

Lorsque les eaux souterraines sont devenues eaux de rivière, le titre nitrique, jusque-là à peu près constant, devient très variable, parce qu'il tombe sous la dépendance des conditions climatériques. C'est ce que démontre l'étude de ses variations, pendant treize mois consécutifs, dans les eaux de la haute Seine, de l'Yonne, de la Marne et de l'Oise. Les plus hauts titres s'observent l'hiver, en l'absence de végétation et de ruissellements ; les plus bas, pendant l'été, lorsque l'élévation de la température et les faibles débits de l'étiage permettent à la végétation de produire son effet maximum.

On sait que le climat est homogène dans tout le bassin de la Seine ; de là aussi la similitude des régimes de tous les cours d'eau ; de là aussi la similitude des *régimes nitriques*, mise en parfaite évidence par les graphiques construits avec les temps pour abscisses et, pour ordonnées, avec les titres nitriques trouvés du mois de février 1895 au même mois de 1896 dans les eaux des rivières précitées.

Il est probable que les titres nitriques des eaux souterraines de bassins différents sont en rapport avec les richesses agricoles de ces bassins. D'après cela, les bassins de la haute Seine et de la Marne, à peu près de même richesse, le céderaient à celui de l'Yonne, qui

serait à son tour inférieur au bassin de l'Oise. Il sera intéressant d'observer les titres nitriques dans d'autres bassins moins importants, aux époques où les eaux de leurs rivières représentent fidèlement leurs eaux souterraines.

III. — *Acide nitrique et chaux dans les eaux de Vanne et de Dhuis.*

Quelques dosages d'acide nitrique m'ayant donné des résultats à peu près constants dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis et variables dans les eaux de l'Avre, l'idée m'est venue de faire intervenir dans l'étude des eaux potables la mesure des variations de leur constitution minérale, comme moyen de distinguer les sources vraies des sources fausses, qui ne sont que des réapparitions de rivières, et des sources suspectes dont les eaux peuvent être des mélanges d'eaux pures et d'eaux impures de rivières ou de ruissellement. La constitution minérale, à peu près constante dans des sources vraies, serait variable dans les eaux des sources fausses ou suspectes.

Pour vérifier cette hypothèse, on a d'abord étudié par l'analyse les eaux de la Vanne et de la Dhuis d'une part, celles de l'Avre d'autre part, puis cherché des explications théoriques de la constance de composition des premières, de la variation de composition des secondes.

Parmi les composés divers dont l'ensemble fait la constitution minérale d'une eau de source, l'acide nitrique et la chaux sont les seuls dont la détermination intervienne utilement pour différencier les eaux de vraies sources de celles de rivières ou de ruissellement. On a donc répété de mois en mois, pendant plus d'une année, les dosages de ces deux composés dans les eaux de la Vanne et de la Dhuis; on les a répétés chaque semaine dans celles de l'Avre.

En ce qui concerne les eaux de la Vanne et de la Dhuis, les faits suivants ressortent des analyses.

Les titres nitrique et calcique n'ont varié pendant treize mois que de $\frac{1}{10}$, en plus ou en moins, de leurs valeurs moyennes.

On n'aperçoit aucune relation entre les variations simultanées du titre nitrique dans les deux eaux; il n'y en a pas davantage entre

les variations du titre calcique ; d'où la conséquence que ces variations sont indépendantes des conditions climatériques et doivent résulter d'accidents de relief ou de constitution interne propres à chaque bassin de source.

On ne trouve non plus aucune relation entre les variations du titre nitrique et celles du titre calcique dans une même eau.

Enfin, on n'en trouve pas entre les titres nitrique ou calcique et les débits des sources ; ainsi, l'observation déjà faite pour les mélanges d'eaux souterraines qui alimentaient, au mois de février 1895, la haute Seine, l'Yonne, la Marne, l'Oise, se reproduit pour des sources isolées.

IV. — *Constance de composition minérale des grandes sources.*

Les résultats fournis par les eaux de la Vanne et de la Dhuis peuvent être expliqués par des considérations théoriques fort simples.

Les terrains servant de réservoirs aux sources, qu'ils soient sableux ou composés de roches fissurées, sont imbibés d'air en même temps que d'eau ; la présence de l'air sert à rompre la transmission de pressions qui tendraient à chasser les eaux dans certaines voies de moindre résistance ; soustraite à ces pressions, la masse liquide opère exclusivement sa descente par déplacement méthodique des infiltrations successives. De ce mode de progression résultent deux conséquences essentielles : d'abord l'obligation pour toutes les infiltrations de demeurer dans le terrain, au contact de l'oxygène et des agents épurateurs, tout le temps nécessaire à leur purification ; ensuite, l'accès simultané, dans une nappe continue ou discontinue, d'infiltrations remontant à des saisons et même à des années différentes ; de là, par le mélange de ces infiltrations, l'unification de la constitution minérale des eaux.

Ces explications ne sont applicables ni aux petites sources dont les réservoirs trop peu importants ne peuvent remplir la fonction de régulateurs ; ni aux eaux artésiennes ou minérales, qui sont mues, au moins sur une partie de leur cours, par des pressions qui excluent le déplacement méthodique.

Leur conclusion essentielle est que, pour expliquer tous les faits

révélés par l'étude des eaux de la Vanne et de la Dhuis, il suffit d'admettre que les sources de ces eaux sont de vraies sources d'eaux pures et potables.

V. — *L'acide nitrique et la chaux dans l'eau de l'Avre.*

Les déterminations de l'acide nitrique et de la chaux dans l'eau de l'Avre conduisent à une conclusion bien différente. La grande amplitude des variations des titres nitrique et calcique, la singulière concordance entre les variations de l'acide et de l'alcali, l'accroissement des titres en temps de sécheresse et leur chute rapide après les dégels et les pluies autorisent, et même rendent extrêmement probable, l'hypothèse que certaines des sources captées débitent à la fois et dans un rapport très variable des eaux de deux sortes : les unes semblables à celles de la Vanne et de la Dhuis, provenant d'infiltrations pluviales épurées par les mêmes procédés naturels ; les autres fournies par des ruissellements absorbés par des terrains trop perméables et arrivant aux sources peu de temps après leur absorption. Les sources de l'Avre dérivées à Paris ne seraient donc pas toutes, certainement, des sources *vraies,* ne débitant leurs eaux qu'après leur séjour prolongé et leur déplacement méthodique dans un sol épurateur ; et mes recherches soulèveraient à nouveau la question de savoir si les eaux de l'Avre sont toujours vraiment potables, en la précisant en ces termes : les eaux de ruissellement qui envahissent certaines sources sont-elles suffisamment filtrées par les terrains qu'elles traversent, de manière à être toujours dépouillées de tout organisme malfaisant ?

LES PRODUITS CHIMIQUES

EMPLOYÉS A LA

STÉRILISATION DES EXCRÉMENTS HUMAINS

SONT-ILS NUISIBLES AUX PLANTES AGRICOLES ET AUX MICROBES BIENFAISANTS DU SOL?

Par A. PETERMANN

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'ÉTAT A GEMBLOUX

La *stérilisation,* désinfection des déjections des hommes et des animaux, a pour but de rendre celles-ci non seulement inodores, comme on le comprend souvent, mais aussi et surtout de tuer les microbes pathogènes et leurs germes qui y séjournent. Si, au point de vue de l'hygiène prophylactique de certaines maladies (fièvre typhoïde, choléra, charbon, rouget, etc.), on a réclamé depuis longtemps déjà et avec instance la généralisation de l'emploi de germicides, et si de nombreux travaux[1] ont fait connaître les substances remplissant ce rôle, le mieux et le plus économiquement possible, on ne rencontre néanmoins chez ceux qui utilisent les matières excrémentielles à la fertilisation de la terre, que de l'indifférence et même de la résistance.

Cependant, outre l'intérêt hygiénique, la stérilisation des excréments présente actuellement un intérêt de premier ordre pour l'agriculture, depuis les récentes recherches de MM. Bréal, Wagner et surtout celles de Stutzer. Ces savants expérimentateurs ont démon-

1. Nous signalons parmi les plus récents, l'importante étude du Dr Vincent (*Annales de l'Institut Pasteur,* 1895, n° 1).

tré, en effet, la présence dans les litières, les matières fécales et les fumiers, de microbes dénitrifiants (*Bacterium denitrificans*) qui, avec une énergie extraordinaire, détruisent les nitrates, la nourriture azotée par excellence, et occasionnent ainsi une perte sérieuse d'azote à l'état élémentaire, à ajouter à celle connue depuis longtemps produite par la fermentation ammoniacale.

L'embarras du choix entre les nombreux germicides prônés, leur prix pour la plupart élevé, mais avant tout la crainte que ces substances vénéneuses ne nuisent aux plantes cultivées, sont la principale cause de l'abstention du cultivateur. Il en a été de même lorsque, il y a de longues années, on a recommandé le chaulage des semences au sulfate de cuivre; il en est encore ainsi en ce qui concerne l'emploi de la bouillie bordelaise comme puissant moyen de lutte contre la maladie de la pomme de terre.

Ces craintes se comprennent, d'ailleurs. L'extrême sensibilité des végétaux à l'influence de certains sels métalliques et l'absence d'expériences directes prouvant l'innocuité des engrais liquides stérilisés chimiquement, justifient ces appréhensions. Mais, d'autre part, on perd de vue l'énorme différence qui existe entre l'épandage direct, par exemple, d'une dose de 200 à 250 kilogr. de sulfate de cuivre ou d'acide sulfurique sur un hectare de récoltes en végétation, et l'application, avant les semailles, de 20 à 25 mètres cubes d'engrais liquide traité par la même dose d'une substance germicide qui, dans ce cas, est en grande partie saturée ou décomposée par les sels ammoniacaux, etc., des matières excrémentielles.

Il faut ajouter à cela qu'il est expérimentalement démontré que le pouvoir absorbant du sol arable est presque nul pour les sels métalliques dont il s'agit ici. Par conséquent, leur accumulation par l'emploi continu d'engrais stérilisés chimiquement, ce qui pourrait élever le taux de ces substances à une dose réellement toxique, n'est pas à craindre. Rappelons à ce sujet que nous avons constaté l'absence complète du cuivre dans les tubercules de pomme de terre poussés dans un champ qui, pendant plusieurs années, a été soumis au traitement de la bouillie bordelaise.

Les expériences dont nous allons rendre compte ont été entreprises à la suite de l'inscription à l'ordre du jour du congrès inter-

national d'agriculture, qui a siégé à Bruxelles en 1895, de la question de la stérilisation des engrais liquides au point de vue de leur emploi agricole.

Envisagé sous le rapport bactériologique par M. van Ermengem[1], l'éminent professeur de l'Université de Gand, le problème avait déjà trouvé une solution partielle, mais les essais agronomiques n'étaient pas terminés ; ils devaient être répétés et complété durant une seconde année. Nous ne pouvions fournir alors que quelques renseignements préliminaires.

Nous avons tenu compte aussi, pour les nouveaux essais de 1896, du vœu émis au congrès par M. Crispo, de comprendre parmi les germicides à essayer, l'acide phosphorique liquide[2], tel que le fournit l'industrie, et de celui présenté par M. Bieler et par M. Graftiau, d'étudier l'action des engrais liquides stérilisés sur les microbes utiles de la terre arable.

§ 1. — L'engrais liquide employé et sa stérilisation.

L'engrais liquide qui a servi provenait d'une citerne de l'institut agricole de Gembloux, dans laquelle on recueille le mélange d'excréments liquides et solides et les déchets de dissection d'animaux. Après un brassage de tout le contenu, on a prélevé l'échantillon destiné à l'analyse, en même temps que la quantité nécessaire aux expériences.

1 litre de gadoue renferme :

Matières organiques et volatiles*. . . .	19gr,65
— minérales**	8 ,35
Résidu sec par litre.	28gr,00
* Renfermant :	
Azote ammoniacal	2gr,03
— organique	0 ,03
** Renfermant :	
Acide phosphorique anhydre	0gr,48
Potasse anhydre.	0 ,68

1. *Congrès international d'agriculture*. Bruxelles, Weissenbruch, tome I, p. 574 ; tome II, p. 42.

2. Nous rappelons ici que dès l'apparition sur le marché de l'acide phosphorique liquide comme produit industriel, nous avons recommandé son emploi à la fixation du carbonate d'ammoniaque des fumiers (*Engrais et matières fertilisant le sol*, etc. Bruxelles, 1874, p. 29).

L'analyse montre qu'il s'agit d'un engrais liquide riche, dont la fermentation est très avancée.

La stérilisation a été opérée dans de grandes cuvelles, en agissant chaque fois sur un hectolitre de matières. Au moment de l'emploi, des échantillons ont été prélevés, placés dans des flacons stérilisés et expédiés immédiatement à M. van Ermengem, qui a bien voulu nous prêter son précieux concours.

Nous réunissons dans le tableau suivant l'ensemble des essais bactériologiques faits en 1895 et 1896 ; le nombre de colonies exprime la moyenne de deux essais faits avec chaque espèce de germicide.

	NOMBRE DE COLONIES par centimètre cube après 48 heures. Mélange		
	à 1 p. 100.	à 1 1/2 p. 100.	à 2 p. 100.
Engrais liquide non traité	»	7 308 000[1]	»
Acide sulfurique à 66° B.	1	0	0
Acide phosphorique liquide du commerce[2]	480	0	0
Extrait aqueux d'un superphosphate[3]	800	0	0
Sulfate de fer[4]	40 074	85 555	2 756
Sulfate de cuivre[5]	5	0	0
Sulfate de zinc[6]	5	0	0
Chlorure de zinc[7]	51	0	0
Acide phénique[8]	1 078	11	0
Lysol[9]	»	4	»

Après traitement par les germicides susmentionnés, la réaction de l'engrais liquide était nettement acide, sauf pour le lysol. L'acide sulfurique et l'acide phosphorique ont donné lieu à un dégagement abondant d'acide carbonique et d'acide sulfhydrique.

1. Environ 5 000 colonies de *Bacterium coli*.
2. Acide phosphorique du commerce de la fabrique d'Engis, 45 p. 100 d'acide phosphorique anhydre.
3. Superphosphate à 11 p. 100 d'acide phosphorique anhydre.
4. Sulfate de fer cristallisé du commerce.
5. Sulfate de cuivre cristallisé du commerce.
6. Sulfate de zinc cristallisé du commerce.
7. Chlorure de zinc liquide du commerce, à 60 p. 100.
8. Acide phénique cristallisé du commerce.
9. Lysol à 6°5 Baumé, de réaction faiblement acide.

Les essais bactériologiques prouvent d'abord, à nouveau, que le sulfate de fer, même à la dose élevée de 2 p. 100, est sans valeur germicide ; en décomposant le sulfhydrate d'ammonium, il n'agit que comme désodorisant. L'acide sulfurique, le sulfate de cuivre, le sulfate de zinc à la dose de 1 p. 100, ont laissé survivre quelques colonies. Mais, pratiquement parlant, les excréments ainsi traités doivent, d'après M. van Ermengem, être considérés comme stérilisés. Ces trois substances se sont montrées bien supérieures à l'acide phénique.

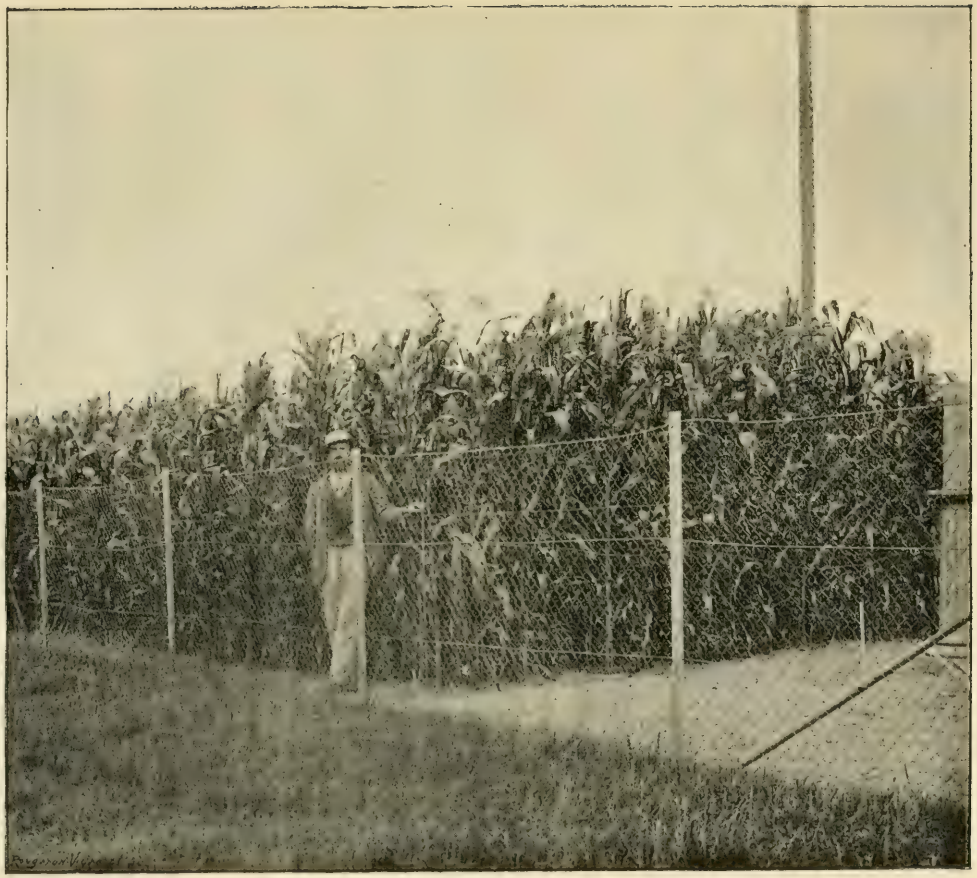
Le chlorure de zinc, si recommandable par son bon marché, n'a point produit de stérilisation complète en l'employant à 1 p. 100, mais porté à 1 1/2 p. 100, il a produit, comme toutes les autres substances, un effet complet.

§ 2. — Essais de germination.

L'acte de la germination est évidemment celle de toutes les phases de la végétation pour laquelle il y a le plus à craindre lorsqu'on emploie des engrais liquides stérilisés par des agents chimiques. Nous avons par conséquent, en 1895 et 1896, à côté des essais de culture, multiplié les essais de germination avec des plantes de familles diverses et à développement radiculaire différent (traçant ou pivotant).

Ces essais ont été entrepris dans des pots contenant 10 kilogr. de bonne terre sablo-argileuse de jardin. On a enterré à la spatule dans chacun d'eux 100 centimètres cubes des mêmes engrais liquides que ceux employés aux autres essais : les produits chimiques stérilisateurs et leur concentration étaient les suivants :

Engrais liquide à 1 p. 100 d'acide sulfurique ;
— à 1 1/2 p. 100 d'acide sulfurique ;
— à 1 1/2 p. 100 de sulfate de zinc ;
— à 1 1/2 p. 100 de sulfate de cuivre ;
— à 1 1/2 d'acide phosphorique (liquide du commerce) ;
— à 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique (extrait de superphosphate).



On a planté dans les pots ainsi préparés 10 à 30 graines (suivant leur grosseur) des espèces botaniques suivantes et on a surveillé quotidiennement la levée :

	COMMENCEMENT de la levée.		LEVÉE COMPLÈTE.	
	Témoin.	Engrais stérilisé.	Témoin.	Engrais stérilisé.
	—	—	—	—
Maïs, betterave	après 7	8	11	11 jours
Colza, lin, froment, avoine, trèfle. .	après 6	5	11	12 jours

La durée de la levée a été par conséquent tout à fait normale et aucune action nuisible ou seulement retardatrice n'a été constatée. Les plantes issues des graines employées ont du reste continué à se développer et à parcourir normalement les diverses phases de la végétation.

§ 3. — Essais de culture de 1895.

Maïs dent-de-cheval. — Application des engrais : 20 avril ; enterrés au râteau : 10 mai ; plantation de deux graines en poquets à l'écartement de 36/10 centimètres ; commencement de la levée dans toutes les parcelles : 22 mai ; levée générale : 26 mai ; binage à la houe : 28 mai ; enlèvement d'un plant par poquet : 30 mai.

A partir du mois d'août la récolte présente un aspect magnifique ; les tiges, d'une végétation très vigoureuse, ont une hauteur moyenne de 3 mètres, avec un maximum atteint par quelques pieds de $3^{m},55$ (voir le cliché photographique, page 125). Dans la parcelle sans engrais plus faible, il n'y a pas de différence appréciable. Récolte : 23 octobre.

Betterave fourragère allemande. — Application des engrais : 20 avril ; bêchage, travail au râteau et au rouleau : 24 et 25 avril ; plantation à l'écartement de 45/25 centimètres : 26 avril ; commencement de la levée : 11 mai ; premier binage : 24 mai ; second binage et mise en place définitive : 6 juin. Rien de particulier sur l'état de la végétation qui continue normalement dans toutes les parcelles. Récolte : 29 septembre.

Poids de la récolte, parcelles de 12,5 mètres carrés.

	BETTERAVES racines en kilogr.	MAÏS VERT épis et tiges en kilogr.
	—	—
1° Témoin sans engrais.	84	90
2° Engrais liquide.	114	105
3° Engrais liquide à 1 p. 100 de sulfate de fer cristallisé.	109	99
4° Engrais liquide à 1 p. 100 de sultate de cuivre cristallisé	110	104
5° Engrais liquide à 1 p. 100 de sulfate de zinc cristallisé.	107	102
6° Engrais liquide à 1 p. 100 de chlorure de zinc (solution à 50 p. 100).	108	96
7° Engrais liquide à 1 p. 100 d'acide phénique cristallisé.	112	103
8° Engrais liquide à 1 p. 100 de lysol (liquide à 6°5 B.).	115	106

Les chiffres précédents prouvent que l'action fertilisante très marquée de l'engrais liquide (augmentation à l'hectare de 24 000 kilogr. de betteraves et 20 000 kilogr. de maïs) n'a pas été entravée par l'addition des produits chimiques dans la proportion de 1 p. 100. Les différences, en moins ou en plus, du rendement de la parcelle à l'engrais non traité, tombent entre les limites (5 p. 100) de l'erreur inévitable dans toute expérimentation en plein air et de la pesée de récoltes telles que la betterave et le maïs vert.

§ 4. — Essais de culture de 1896.

Maïs dent-de-cheval. — Application des engrais : 27 avril ; plantation : 29 avril à l'écartement de 38,5/25 centimètres ; commencement de la levée dans toutes les parcelles : 21 mai ; levée générale : 23 mai ; binage : 6 juin ; démariage : 15 juin ; buttage : 19 juin. La végétation est dans tous les carrés d'essai d'une belle vigueur ; on place des fils de fer en travers des lignes afin de supporter les tiges contre le vent ; hauteur moyenne : $2^{m},80$. Récolte : 1er octobre.

Pomme de terre, variété Schwan. — Application des engrais : 27 avril ; plantation de tubercules d'un poids moyen de 62 gr. à l'écartement de 62,5/30 centimètres : 11 mai ; commencement de la

levée : 26 mai ; levée générale dans toutes les parcelles : 10 juin ; buttage : 15 juin ; application de la bouillie bordelaise : les 11 et 30 juillet. Récolte : 1er octobre.

Poids de la récolte, parcelles de 25 mètres carrés.

	POMMES DE TERRE.			MAÏS VERT
	kilogr.		p. 100 de fécule	kilogr.
1° Engrais liquide brut.	43,5	à	20.4	148,2
2° Engrais liquide avec 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique anhydre (liquide du commerce)	44,1	à	20.1	150,5
3° Engrais liquide brut avec 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique anhydre (à l'état de superphosphate)	46,2	à	20.9	146,9

Le remplacement du sulfate de cuivre, du sulfate de zinc, de l'acide sulfurique, etc., par l'acide phosphorique, employé soit comme acide phosphorique liquide du commerce, soit comme superphosphate de chaux, a produit à la dose de 1.5 p. 100 une stérilisation complète de l'engrais liquide et n'a pas agi défavorablement ni sur la végétation, ni sur le poids de la récolte en maïs et en pommes de terre, ni sur la richesse en fécule de ces dernières.

§ 5. — Les engrais stérilisés et les microbes bienfaisants du sol.

En comparant la quantité d'azote nitrique fournie par les eaux de drainage d'un volume donné de terre, fumé à l'engrais liquide brut, avec celle — toutes autres conditions égales — produite par la terre fumée à l'engrais liquide stérilisé, on doit constater si les germicides employés sont nuisibles ou non à la nitrification.

Les cases de végétation[1] dont dispose la Station agronomique se prêtent parfaitement à cette expérience ; elles permettent de la

1. Nous renvoyons pour la description détaillée de ces cases, à notre ouvrage : *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture*, t. I, 2e édit., p. 46.

poursuivre pendant une période assez longue et d'opérer sur un fort poids de terre.

Ces cases se trouvaient au printemps de 1896 dans un état de comparabilité parfaite ; elles contenaient exactement un mètre cube de terre sablo-argileuse, chargée en 1895 après un mélange intime; elle portait du gazon qui a été retourné en février 1896. La nitrification y était assez active malgré la basse température du mois d'avril, car les eaux de drainage renfermaient avant le commencement de l'expérience, à différentes époques de prélèvement des échantillons, de $2^{mgr},4$ à $8^{mgr},4$ d'azote nitrique par litre.

Les engrais liquides ont été répandus le 27 mars 1896, à la dose de $2^{lit},5$ au mètre carré, répartis et enterrés superficiellement au râteau ; les bouteilles à eau de drainage étaient vides.

A partir de ce moment jusqu'au 12 octobre (199 jours), les eaux furent recueillies et MM. Graftiau et Hendrick y ont opéré le dosage de l'azote nitrique, chaque fois que le volume de l'eau recueillie était d'un litre au moins. Notre étude comprend en tout 104 déterminations d'azote, faites en double [1].

Pendant toute la durée de l'expérience, la terre est restée nue, sans végétation aucune.

Avec l'élévation de la température dans le courant des mois de mai et de juin, le titre en azote des eaux de drainage montait rapidement, atteignant quelquefois, pendant l'été et dans les cases ayant reçu de l'engrais liquide, le taux élevé de 70 milligr. par litre.

Le volume des eaux de drainage produites pendant la période expérimentale était, en moyenne pour toutes les cases de végétation, de 75 litres par mètre cube de terre, pour une hauteur de pluie de 291 millimètres.

---

1. L'analyse a été opérée d'après la méthode Schlœsing-Grandeau, contrôlée par celle de Warington-Fleck. (Voir : *Recherches de Chimie,* etc., t. II, p. 180 et 243.) Il a été constaté à nouveau que la réduction des nitrates par le couple zinc-cuivre n'est complète que dans des liquides très étendus, quelques milligrammes d'azote par litre.

La méthode de Grandval et Lajoux reposant sur la formation d'acide picrique donne également d'excellents résultats lorsqu'on a à doser de faibles quantités d'azote. Dans ces conditions, elle est de toutes les méthodes exactes, la plus rapide ; nous publierons sous peu une méthode complète sur ce procédé.

Voici, par case soumise à un régime différent, la quantité d'azote nitrique recueillie du 27 mars au 12 octobre 1896 :

NUMÉROS des cases.	ENGRAIS.	AZOTE NITRIQUE en grammes.
1	Rien	2 112
2	Engrais liquide brut	3 209
3	Engrais liquide brut, à 1 p. 100 d'acide sulfurique	2 995
4	Engrais liquide brut, à 1 1/2 p. 100 de sulfate de zinc	3 048
5	Engrais liquide brut, à 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique (liquide du commerce)	2 992
6	Engrais liquide brut, à 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique (extrait aqueux d'un superphosphate)	3 192

Si, pour rendre plus frappante la comparaison, nous exprimons par 100 la quantité d'azote produite par 1 mètre cube de terre fumée par $2^{lit},5$ d'engrais liquide brut, nous obtenons pour les cases différemment traitées, respectivement :

93.3 95.0 93.2 99.5

Ces chiffres, vu les conditions d'une expérience en grand, sont certainement assez rapprochés pour devoir conclure que le traitement de l'engrais liquide par des germicides n'a pas eu d'influence déprimante sur la nitrification de l'azote du sol ni de celui de l'engrais.

Il est démontré depuis quelques années par divers expérimentateurs que l'absorption de l'azote élémentaire par les légumineuses s'opère sous l'influence d'un microbe vivant en symbiose dans les nodosités que portent les racines des plantes de cette grande famille. La stérilisation complète du milieu nutritif empêche ce phénomène de se produire. Par conséquent, si les matières excrémentielles désinfectées dans un but hygiénique renfermaient encore, après les réactions qui s'y opèrent, un excès de germicides suffisant pour tuer les microbes utiles du sol, l'emploi agricole de ces matières serait à rejeter : elles empêcheraient la formation des nodosités et aucun gain d'azote ne serait réalisé.

Après avoir démontré plus haut que l'engrais liquide stérilisé n'est pas nuisible à la nitrification, nous devions rechercher encore

comment il se comporte envers la particularité physiologique qui favorise la vie des légumineuses.

Six pots ont été remplis chacun de 10 kilogr. de terre d'une tréflière, terre que nous savions suffisamment pourvue du microbe spécial par suite d'expériences antérieures[1] auxquelles elle nous avait servi. La terre a été arrosée avec 50 centimètres cubes d'engrais liquide stérilisé par les mêmes produits que ceux employés dans les cases de végétation, savoir :

NUMÉROS des pots.	ENGRAIS.
1	Rien.
2	Engrais liquide brut.
3	Engrais liquide brut + 1 1/2 p. 100 d'acide sulfurique.
4	Engrais liquide brut + 1 1/2 p. 100 de sulfate de zinc.
5	Engrais liquide brut + 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique (liquide du commerce).
6	Engrais liquide brut + 1 1/2 p. 100 d'acide phosphorique (extrait aqueux d'un superphosphate).

Les lupins ont été plantés le 2 juin 1896 ; la levée s'est opérée le 10 juin. Assez chétive d'abord, la végétation s'est peu à peu montrée d'une belle venue ; les plantes, après une belle floraison, ont donné des gousses. Récoltées le 10 octobre et débarrassées de la terre par un lavage à eau courante, toutes les plantes de chaque pot étaient richement garnies de nodosités radicales. Nous publions à titre de preuve (voir page 133) la photographie de plantes produites par le pot n° 4, au sulfate de zinc.

Conclusions.

Un mélange d'excréments humains liquides et solides, traité par les germicides suivants : acide sulfurique, acide phosphorique, extrait aqueux de superphosphate, sulfate de cuivre, sulfate de zinc, chlorure de zinc et lysol, à la dose de 1 à 1 1/2 p. 100 suivant la

1. *Recherches de Chimie et de Physiologie appliquées à l'agriculture,* t. II, p. 212 et 252. Contribution à la question de l'azote.

substance, n'a plus donné lieu à aucun développement de colonies de microbes.

Employée dans la proportion de 20 et 25 mètres cubes à l'hectare, la vidange stérilisée n'a pas entravé, ni même retardé la germination du lin, du colza, de l'avoine, du froment, du maïs, de la betterave et du trèfle ; elle n'a exercé aucun effet nuisible sur la quantité et la qualité de la récolte de la pomme de terre, du maïs et de la betterave fourragère.

La vidange stérilisée n'a pas arrêté l'action du microbe nitrifiant, ni du microbe vivant en symbiose dans les nodosités du lupin. La quantité d'azote nitrique produite dans l'espace de plusieurs mois par un mètre cube de terre fertilisée par la vidange stérilisée, est égale à celle obtenue dans les mêmes conditions par la terre ayant reçu la vidange brute. Les lupins cultivés dans des pots avec des excréments stérilisés étaient, les uns comme les autres, richement garnis de tubercules radicaux.

En appliquant le résultat de notre étude à la pratique, nous devons poser la question : lequel, parmi les agents germicides, convient-il de recommander à l'emploi usuel, en ayant en vue l'utilisation des engrais liquides comme matière fertilisante ?

Ou autrement dit, lequel, parmi les agents reconnus actifs, est le plus commode et le moins cher, sans présenter du danger pour les personnes qui le manipulent et sans nuire aux qualités fertilisantes des matières excrémentielles ?

Ces réserves éliminent tout d'abord la *chaux,* malgré son action parasiticide énergique et bien connue, son emploi entraînant fatalement des pertes d'ammoniaque. Le *chlorure de chaux* et le *chlorure de mercure,* très actifs dans d'autres conditions, ne conviennent pas à la stérilisation de matières renfermant une proportion élevée de sels ammoniacaux. Le prix de l'*acide phénique* et du *lysol,* ce dernier d'une grande efficacité, restreint leur emploi aux hôpitaux. Il en est de même de l'*acide sulfurique,* pourtant remarquable comme effet, sa manipulation présentant un réel danger. Il ne doit être mis que dans les mains de personnes habituées à son maniement, telles que les gardes-malades d'hôpitaux ou le personnel spécial de désin-

fecteurs, qui fonctionne en cas d'épidémie et sur l'intervention des autorités.

Nous n'ignorons pas que l'industrie, dans le but de rendre l'emploi de l'acide sulfurique plus commode et sans danger, prépare maintenant des poudres[1], poussière de tourbe, charbon, sulfate de chaux, auxquels on a fait absorber des acides minéraux (sulfurique et phosphorique) et que le superphosphate lui-même n'est pas autre chose que du plâtre imprégné d'acide phosphorique ; mais ces préparations, appropriées au traitement de mélanges d'excréments d'animaux et de litières, recommandables aussi pour la stérilisation des selles dans les chambres des malades, ne conviennent pas à la stérilisation d'une quantité un peu importante de déjections humaines recueillies dans une citerne.

Pour réaliser celle-ci, c'est-à-dire pour porter le taux du principe actif à 1 ou 1 1/2 p. 100 de l'engrais liquide, on doit lui incorporer une proportion si élevée de matières solides, le véhicule du germicide, que le mélange intime de toute la masse est fort difficile et qu'il devient impossible de vider la fosse à l'aide d'une pompe dont la tuyauterie et le corps même seraient vite obstrués. Le plâtre acide et le superphosphate produisent une véritable précipitation, une coagulation des matières fécales en suspension.

En nous basant sur nos essais et sur les considérations qui précèdent, il nous reste pour la stérilisation en grand des excréments humains, que nous avons seule en vue dans ce travail : le *sulfate de cuivre*, le *sulfate de zinc*, le *chlorure de zinc* et l'*acide phosphorique*.

Au cours actuel, le sulfate de zinc est d'un prix plus réduit que le sulfate de cuivre. Le chlorure de zinc est le moins cher des trois, mais, comme il est moins efficace que les sulfates, il en faut une quantité plus forte, ce qui annule cet avantage.

Mais nulle de ces substances ne renfermant un principe nutritif essentiel des végétaux, il est recommandé en fin de compte d'opérer

---

1. Müntz et Girard, *Les Engrais*, t. I.
Vogel, *Die städtischen Abfallstoffe*. Berlin, 1896.
Lucke, *Résumé des travaux de Stutzer*. Halle, 1896.

la stérilisation du contenu des citernes par l'*acide phosphorique liquide* que le commerce fournit actuellement à une concentration de 45 à 50 p. 100, et dont le prix d'achat envisagé comme stérilisant est fortement réduit par la valeur intrinsèque qu'il représente comme principe fertilisant.

Il présente encore cet avantage de pouvoir être employé tel qu'il arrive, tandis que les sulfates de cuivre et de zinc doivent être dissous auparavant. En effet, on ne peut juger ces sels directement dans la citerne, leur dissolution et leur mélange avec les matières fécales se faisant fort lentement dans ces conditions.

La stérilisation d'un mélange d'excréments humains solides et liquides est en général complète lorsque le taux des trois germicides que nous recommandons atteint 1 à 1 1/2 p. 100. La composition du contenu des citernes étant naturellement fort variable, son état de fluidité et la nature des microbes qui y vivent jouant un grand rôle dans l'exécution de la stérilisation, et enfin le cubage des matières à traiter et le pesage des produits chimiques ne se faisant pas facilement dans la pratique, il est à conseiller de ne pas opérer *quantitativement* mais *qualitativement*. C'est-à-dire, sans se préoccuper du pourcentage à atteindre, de verser l'acide phosphorique liquide ou les dissolutions des sulfates peu à peu dans la fosse, de brasser la masse et d'attendre la fin du dégagement d'acide carbonique, ce qui se constate par l'abaissement de la mousse. On ajoute ensuite une nouvelle quantité de désinfectant, jusqu'au moment où un papier bleu de tournesol plongé dans l'engrais liquide prend une couleur rouge. Si l'on veut agir consciencieusement, on essaie à nouveau au papier de tournesol après une heure et après un nouveau brassage. Si la réaction s'est maintenue acide, l'opération a réussi et l'on peut considérer l'engrais comme étant stérilisé, pratiquement parlant.

ÉTUDE

SUR

L'EMPLOI DES ENGRAIS PHOSPHATÉS

SUR

LES TERRES DE L'INFRA-CRÉTACÉ DE LA PUISAYE

Par M. POTIER

PROFESSEUR SPÉCIAL D'AGRICULTURE A SAINT-SAUVEUR-EN-PUISAYE (YONNE)

I

L'usage des engrais phosphatés commençant à se répandre dans la Puisaye, dont les sols sont pauvres en calcaire et en acide phosphorique, il m'a paru utile de déterminer par des essais culturaux sous quelles formes ces engrais doivent être donnés aux terres de cette région et à chacune des plantes qui en composent l'assolement.

Les recherches de ce genre ont un intérêt direct bien évident. Ce sont elles qui nous fournissent les moyens de résoudre cette question très importante, à savoir : *quelles sont les fumures phosphatées économiquement les plus avantageuses dans tous les cas qui peuvent se présenter ?*

Sans doute, la science agronomique nous donne actuellement des règles générales très précieuses ; mais il est indéniable qu'elles ont besoin d'être vérifiées, modifiées même, en un mot, elles doivent

être mises au point suivant les lieux et les circonstances en s'appuyant sur les résultats obtenus dans les expériences directes en plein champ. L'analyse complète ou partielle du sol rend, il est vrai, de grands services dans le choix des engrais ; la détermination du calcaire notamment (aujourd'hui une opération à la portée de tout le monde) nous permet de préjuger assez exactement de la nature des engrais phosphatés à appliquer à la plupart de nos sols. Néanmoins il faut reconnaître que les données du laboratoire sont parfois insuffisantes et le dernier mot appartient sans conteste aux champs d'expériences. En les multipliant sur les sols types de toutes les formations géologiques d'une région, on en retire des indications précises d'une grande portée pratique et susceptibles de quelques généralisations très profitables aux praticiens.

Ce sont aussi, il faut l'ajouter, les résultats acquis dans les champs d'expériences qui permettent de créer en toute confiance les champs de démonstration.

C'est ainsi des résultats recueillis dans les champs d'expériences que j'ai pu établir dans la Puisaye que je me propose de donner ici une courte analyse.

II

ORIGINE GÉOLOGIQUE DES SOLS DE LA PUISAYE

Nos expériences se rapportent aux sols issus du crétacé inférieur du S.-O. du département de l'Yonne. Cette formation est composée d'une série de couches souvent fort épaisses, alternativement argileuses, sableuses, rocheuses ou ferrugineuses.

Ces assises forment sur la rive gauche de l'Yonne une bande de terrains adossés d'une part, au N.-E., au pied de la terrasse portlandienne de l'Auxerrois et, s'étendant parallèlement vers le N.-O. sur une largeur de 10 à 12 kilomètres, elles viennent butter contre les plateaux tertiaires du Gâtinais. Cette région a un facies particulier.

C'est une suite de vallons où la fraîcheur à peu près constante du sol ou du sous-sol entretient une végétation forestière luxuriante, qui encadre agréablement les cultures et dont l'ensemble contraste

si bien avec les coteaux dominants, pierreux, secs et découverts, de l'oolithe supérieure.

Il y a entre ces deux formations (oolithe supérieure et crétacé inférieur) une brusque transition. L'une, calcaire, très perméable, propre à la vigne, au noyer, à la luzerne, moyennement riche en potasse et en acide phosphorique, est totalement livrée à la culture. L'autre, celle qui nous occupe, aux vallons frais et souvent humides aux bords des étangs qu'on y rencontre encore, est formée de sols d'une fertilité initiale bien inférieure aux précédents. Pauvres en calcaire et en acide phosphorique, ces terres se couvrent spontanément de houx, fougères, genêts, ajoncs, digitale, d'agrostis, de petite oseille, de miboras et de droues. La marne empruntée aux couches supérieures du portlandien et à la craie inférieure de la vallée du Loing a transformé la culture de cette région.

Le seigle a fait place au blé ; la culture des plantes sarclées a réduit de beaucoup la sole de jachère ; les prairies artificielles et temporaires, trèfle et ray-grass, ont donné jusqu'à ces derniers temps des fourrages abondants et d'assez bonne qualité. Les effets du marnage qui remontent souvent à plus de 40 ans s'effacent aujourd'hui et au dire des cultivateurs les marnages nouveaux sont sans efficacité.

Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que les engrais phosphatés fassent merveille sur ces sols frais de la Puisaye dont la richesse très médiocre ne peut être entretenue que par l'apport poursuivi de matières fertilisantes empruntées au dehors.

Comme j'espère le montrer dans l'exposé qui va suivre, les engrais phosphatés produisent dans ce pays des améliorations immédiates et durables que je vais essayer de mettre en relief.

Les expériences ont été entreprises sur les sols suivants en adoptant la désignation de la *Carte géologique détaillée du service des mines*. Ce sont par ordre d'ancienneté :

L'assise argileuse du néocomien C_{3-4} ; les assises sableuses ou silico-argileuses ferrugineuses, des argiles bariolées C_2, des argiles à plicatules C^1 des sables et grès ferrugineux C^1, puis les argiles de Myennes C^2, enfin les sables de la Puisaye C^3 (dont l'épaisseur est de plus de 80 mètres) qui forment à eux seuls les trois quarts des terres cultivées.

Sables ferrugineux de la Puisaye C[1], de la carte géologique détaillée.

Thureau de Saint-Sauveur.

Le champ, situé à 315 mètres d'altitude, domine la vallée du Loing ; il est siliceux-gréseux-ferrugineux. Négligé depuis plusieurs années, il est considéré comme pauvre. En jachère nue en 1894, il est emblavé le 16 octobre avec du blé bleu et du blé au budeau, après avoir reçu environ 25000 kilogr. de fumier à l'hectare.

C'est cette terre superficielle, boueuse en hiver, sèche en été, que nous avons choisie comme type des terrains de cette catégorie situés sur les sommités.

Les parcelles d'un are traitées aux engrais minéraux étaient formées de planches de 3 mètres de large ; toutes étaient séparées de leur voisine par un témoin de même largeur. Cette multiplication des parcelles témoins permet de mettre très bien en relief l'action des engrais et surtout elle donne le moyen de reconnaître si, par suite du défaut d'homogénéité du sol, il n'y a pas lieu de rectifier les résultats obtenus sur l'une ou l'autre des parties du champ. L'expérience m'a montré que dans notre région cette multiplicité des témoins est indispensable ; souvent le rendement de ces lots témoins varie dans d'assez grandes limites d'un bord à l'autre d'une pièce. On ne peut donc considérer comme imputable à l'engrais étudié que l'excédent de la parcelle sur ses 2 voisines témoins.

Si on se contente de laisser un lot témoin au hasard, on s'expose à conclure prématurément et à commettre de bonne foi de très graves erreurs.

Le but de notre expérience était :

1° De mettre en comparaison les engrais phosphatés que nous avions reconnus depuis plusieurs années comme les seuls recommandables à cause de leur efficacité, ce sont le superphosphate de chaux, les scories, le phosphate précipité.

Ces engrais mis séparément ou associés à une fumure minérale azotée d'automne (sulfate d'ammoniaque) ou de printemps (nitrate

de soude) ont été ainsi placés dans toutes les conditions favorables à leur comparaison.

2° Les engrais potassiques seuls ou associés aux phosphates ont été employés pour montrer aux cultivateurs l'erreur coûteuse qu'ils commettent en achetant des engrais complets tout préparés par le commerce, enfin ces engrais ont été employés également dans le but de reconnaître si dans la suite ils ont quelque influence sur le développement des légumineuses composant la prairie temporaire : trèfle, ray-grass, qui succède à l'avoine.

Les résultats obtenus ont été des plus nets pour ceux qui ont suivi cette expérience pendant la durée de la végétation.

Les engrais phosphatés, les scories à l'égal du superphoshate se sont révélés dès le début du tallage automnal par la vigueur exceptionnelle des parcelles traitées, par le départ précoce de la végétation à la sortie de l'hiver, la grande régularité des chaumes et des épis ; enfin une maturité précoce de huit jours permettait à ces parcelles d'échapper à l'échaudage. Tandis que les grains de parcelles témoins étaient longs, glacés, les autres étaient renflés jaunes et à cassure fraîche, farineuse. C'est là un effet opposé à celui des engrais azotés et qui a son importance.

A la moisson, les gerbes ont été pesées en complet état de dessiccation, les pesées de la paille et du grain faites lors du battage, qui a suivi quelques jours après, nous ont donné les résultats suivants ramenés à l'hectare et consignés dans le tableau I.

Ces chiffres méritent de retenir l'attention. En comparant les rendements et en mettant en regard la dépense occasionnée par la fumure minérale, il ressort de ces chiffres :

1° Qu'à l'aide des phosphates le rendement passe de :

2 400 à 5 600 pour la paille, soit un écart de 3 200 kilogr.
1 450 à 3 150 pour le grain, — de 1 700 —

Cet écart considérable, prévu par les estimations faites avant la récolte, serait certainement atténué sur une semblable terre soumise à une culture mieux entendue : nous en avons la preuve dans d'autres expériences faites sur le même sol. Mais en admettant qu'on fasse subir une réduction à cet excédent de rendement afin de se placer

TABLEAU I. — Expériences sur engrais complémentaires appliqués au blé d'automne (Noé). Sol silicéo-ferrugineux C³. Année 1894. (Thureau de Saint-Sauveur.)

	DÉSIGNATION DES PARCELLES ET DES FUMURES.	PRIX des engrais minéraux complémentaires.	RENDEMENT en paille.	EXCÉDENT dû à la fumure complémentaire.	RENDEMENT en grain.	EXCÉDENT dû à la fumure complémentaire.
		fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
	Témoin fumier seul	»	*2 400*	»	*1 450*	»
	1 Scories de Longwy 16/18 de PO^5, total 1 000 kilogr	50	5 600	3 200	3 150	1 700
	2 Même fumure additionnée de KCl, 200 kilogr.	98	5 600	3 200	3 150	1 700
	3 Même fumure additionnée de $KOSO^3$, 200 kilogr.	102	5 600	3 200	3 150	1 700
	4 Scories 16/18 + 200 kilogr. nitrate de soude en mars 1895.	100	7 000	4 600	3 350	1 800
5	Série aux superphosphate 13/15. 300 kilogr..	22,50	4 350	1 950	2 400	950
6	400 —	30	4 400	2 400	2 480	1 030
7	600 —	45	5 400	3 000	3 050	1 600
8	800 —	60	5 450	3 050	3 075	1 625
9	600 + 200 kilogr. $KOSO^3$ . .	97	5 450	3 050	3 075	1 625
10	600 + 200 kilogr. KCl . . .	93	5 450	3 050	3 075	1 625
11	600 + 200 kilogr. sulfate d'ammoniaque mis à l'automne 1894	105	5 400	3 000	3 050	1 600
12	600 + 200 kilogr. nitrate de soude printemps 1895 . .	95	6 300	3 900	3 180	1 730
13	800 + $KOSO^3$ 200 + 200 kilogr. sulfate d'ammoniaque automne	172	4 900	2 500	2 900	1 450
	14 Phosphate précipité, 250 kilogr. . . .	»	5 150	2 750	2 900	1 450
	15 Chlorure de potassium seul, 200 kilogr.	48	2 400	»	1 450	»
	16 Sulfate de potasse seul, 200 kilogr. .	52	2 400	»	1 450	»
	17 Sulfate de potasse 200 + 200 kilogr. nitrate de soude	102	4 050	1 650	1 980	530
	18 Nitrate de soude, 200 kilogr	50	3 650	1 250	1 780	330
	Témoin fumier seul	»	*2 470*	»	*1 550*	»

dans les conditions les meilleures de la bonne culture de ce pays, il n'en reste pas moins acquis que les engrais phosphatés sont le complément indispensable du fumier dans la culture du blé.

Scories et superphosphates. — Les superphosphates sont les seuls engrais phosphatés employés sous le nom de guano par nos cultivateurs. La comparaison entre le rendement et les prix de ces deux fumures montre qu'il y a ici pour une dépense égale *équivalence d'action*. C'est à retenir, car je montrerai plus loin l'influence prolongée de ces catégories d'engrais dans l'assolement, c'est ce qui nous permettra de conclure sans réserve.

Enfin, en comparant les parcelles 5, 6, 7, 8 à doses variables de superphosphates le calcul montre que, abstraction faite de la paille, on obtient,

Avec	22 fr. 50 c.	par hectare	un excédent de	950	kilogr. de grains.
—	30 fr.	—	—	1 030	—
—	45 fr.	—	—	1 600	—
—	60 fr.	—	—	1 625	—

Jusqu'à 600 kilogr. les fumures de superphosphates peuvent être avantageusement employées; au delà, il y a perte; en deçà, suivant les ressources dont ils disposent, les cultivateurs pourront adopter les doses modérées qui seront toujours rémunératrices dans ces sols pauvres.

L'examen des rendements des parcelles 2, 3, 9, 10, 15, 16 montrent l'inutilité des engrais potassiques.

Quant aux engrais azotés, les parcelles 11 et 13 révèlent l'inefficacité du sulfate d'ammoniaque. Le nitrate de soude répandu simplement à la surface n'a pas été enterré à la herse comme le font avec raison les cultivateurs soigneux, aussi n'a-t-il donné qu'un excédent de rendement insuffisant. Il n'a pas dépendu de moi d'éviter la coupable incurie qui rend toujours ici ces engrais peu rémunérateurs; le hersage doit ne jamais être négligé pour enterrer cet engrais dont le prix justifie assez les moyens propres à en assurer le maximum d'action.

Enfin la parcelle 13 nous montre que, malgré les engrais incor-

porés à haute dose à un sol déterminé, on ne peut espérer d'un seul coup augmenter proportionnellement sa puissance productive.

Aux Michauts (Moutiers).

Une expérience établie sur le même plan à 3 kilomètres de la première sur un sol de même origine et de constitution identique nous a donné également en 1895 des résultats qui confirment en tous points ceux que nous venons d'exposer. Je n'y insiste donc pas.

Argiles de Myennes C^2, de la carte géologique détaillée.

Blé 1894.

Les sols de cette nature sont situés autour des premiers à la base des vallons; ils sont généralement silico-argileux, froids, un peu pierreux (rognons gréseux,), mais le sous-sol formé d'une argile jaune ou noirâtre, schisteuse, est absolument imperméable. Le drainage s'y impose : sinon, le blé languit et au printemps il est clairsemé ; plus de la moitié est détruit par l'humidité. Ainsi assainis, ces terrains doivent, sans doute à leur situation, d'être susceptibles de donner des récoltes plus abondantes et plus assurées que celles des sables ferrugineux, rocheux de la Puisaye.

En 1893, la prairie temporaire qui occupait ce terrain depuis 3 ans fut rompue au printemps. L'avoine semée sur ce labour frais ayant mal réussi, après la récolte on donna un labour de déchaumage suivi d'un labour moyen qui a enterré en fin de septembre le fumier semé sur la moitié inférieure du champ.

Les engrais minéraux ont été répandus sur le labour avant le hersage des semailles, le 16 octobre 1893.

Cette expérience, faite un an avant la précédente, comportait la comparaison des principaux phosphates ; j'y avais ajouté la viande moulue, engrais qui avait été trop facilement accepté à ce moment par nos cultivateurs.

Comme au Thureau, l'acide phosphorique apporté sous les formes

facilement assimilables a produit des effets physiologiques extrêmement remarquables. L'hiver rigoureux de 1893-1894 n'a atteint que les parcelles témoins ou à phosphates fossiles ; pendant la végétation la différence de vigueur s'est soutenue, la maturité a été également avancée.

La récolte faite le 18 juillet nous a donné les résultats réunis dans le tableau II. On constate comme précédemment : 1° que pour une dépense sensiblement égale de scories et de superphosphate on obtient des résultats presque identiques ; 2° la différence de 200 kilogr. que l'on constate en faveur des superphosphates rentre dans la limite des variations indépendantes de la nature de la fumure.

Le phosphate précipité a même valeur que la précédente, tandis que les phosphates minéraux de l'Oise, des Ardennes et de l'Auxois ne se sont pas mieux révélés à la récolte que pendant la végétation, où il n'a jamais été possible de leur attribuer une influence quelconque. Ils ont été complètement inertes comme partout d'ailleurs où je les ai essayés sur les terres régulièrement soumises à la culture.

L'engrais azoté organique, la viande moulue, au prix indiqué est un engrais très inférieur aux scories, les cultivateurs n'ont aucun intérêt aux prix actuels à se procurer cette matière particulièrement facile à adultérer.

Quant à la dose la plus avantageuse de superphosphate, l'examen des parcelles 4, 5, 6, 7, 8 et 9 indique clairement que la dose de 600 kilogr. ne doit pas être dépassée.

Sables et grès ferrugineux C^1, argiles à plicatules C_1, argiles bariolées C_2.

De semblables constatations ont été faites sur les sols siliceux des sables et grès ferrugineux C^1 des argiles à plicatules C_1, enfin des argiles bariolées C_2. Ces couches présentent entre elles de très grandes analogies de composition physique ; elles forment une ceinture étroite très constante de caractère à la base des sols de la Puisaye et sépare ceux-ci des assises argileuses du néocomien infé-

TABLEAU II. — Blé 1893-1894. Argiles de Myennes C². Sols silicéo-argileux pierreux.

DÉSIGNATION DES PARCELLES ET DES FUMURES complémentaires.	PRIX de la fumure minérale.	RENDEMENT en paille.	EXCÉDENT dû à la fumure minérale.	RENDEMENT en grain.	EXCÉDENT dû à la fumure minérale.
	fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1re Série. — Engrais minéraux associés à 15000 kilogr. de fumier par hectare.					
Témoin fumier seul	»	*3 650*	»	*2 300*	»
1 Phosphate de l'Oise, 980 kilogr. . .	46	4 000	350	2 500	200
2 — de l'Auxois, 634 kilogr. .	46	4 000	350	2 500	200
3 — des Ardennes, 920 kilogr.	46	4 000	350	2 500	200
4 Superphosphate minéral 13/15, 600 kilogr.	46	6 200	2 550	3 600	1 300
5 Superphosphate d'os 16/18, 420 kilogr.	46	6 300	2 650	3 650	1 350
6 — minéral 13/15, 1 200 kilogr.	92	6 500	2 550	3 800	1 500
7 Superphosphate d'os 16/18, 840 kilogr.	92	6 300	2 650	3 700	1 400
8 — minéral 13/15, 900 kilogr.	69	6 300	2 650	3 700	1 400
9 Superphosphate d'os 16/18, 630 kilogr.	69	6 200	2 550	3 600	1 300
10 Phosphate précipité, 180 kilogr. . .	46	6 150	2 500	3 500	1 200
11 Scories de Jœuf, 920 kilogr.	46	6 100	2 450	3 450	1 150
12 Viande moulue 10/10. Azote organique, 290 kilogr.	50	4 600	950	2 700	400
2e Série. — Engrais phosphatés seuls employés sans fumier. Pâture ancienne défrichée.					
Témoin ni fumier ni engrais minéraux.	»	*2 850*	»	*1 800*	»
13 Phosphate des Ardennes, 1 000 kilogr.	50	2 850	0	1 800	0
14 Scories de Jœuf, 1 000 kilogr. . . .	50	6 000	3 150	3 400	1 600
15 Superphosphate minéral 13/15, 600 kilogr.	46	6 000	3 150	3 400	1 600

rieur. Leur composition oscille autour de celles-ci prises comme types.

Terre fine : argile et sable ténu	950	970
Cailloux, gravier	50	30
Azote.	0.73	1.02
Acide phosphorique	0.37	0.44
Potasse.	2.24	1.40
Calcaire p. 100.	0.08	0.20

Ces sols forment le fond des vallées ; imperméables, comme on peut le voir d'après cette analyse, où la portion ténue forme plus des 9/10es du poids de la terre, ils bénéficient beaucoup des amendements calcaires et les phosphates métallurgiques équivalents aux superphosphates dans la culture du blé.

J'y reviendrai d'ailleurs au sujet des fourragères sarclées.

Calcaires à spatangues et marnes ostréennes.

Ces assises qui forment la base de l'infra-crétacé et s'appuient sur le portlandien, donnent des sols argileux compacts couleur brun jaunâtre, d'une culture extrêmement difficile.

Le sous-sol formé soit d'une argile grise ou noire, soit de bancs de petites pierres caverneuses de gris fumée à oolithes ferrugineuses a la plus grande influence sur les facultés productrices du sol.

La nature du sol permet la culture de la luzerne et le blé y réussit bien, mais lorsqu'il est argileux ce sol ne se prête qu'à la culture du blé après jachère. Le succès des cultures réside principalement dans l'opportunité de façons mécaniques qui doivent aboutir à un ameublissement convenable permettant des semailles précoces. Aussi l'influence des engrais complémentaires n'est plus aussi marquée que dans les sols précédents, du moins en ce qui concerne le blé. Les cultivateurs les emploient néanmoins avec profit. On obtient :

Avec fumier seul un rendement de 16 à 18 hectolitres par hectare.

Avec superphosphates 600 ou 1000 kilogr. de scories, 24 à 26 hectolitres par hectare.

Dans ces terres si rebelles à l'ameublissement le travail mécanique prime les fumures; l'engazonnement du sol nous paraît, concurremment avec le drainage, l'amélioration la plus heureuse. On obtiendrait ainsi des pâtures riches en légumineuses, ainsi qu'on peut le prévoir d'après la végétation spontanée.

Après avoir ainsi passé en revue toutes les formations géologiques de la Puisaye, il me paraît inutile de rapporter les résultats des autres expériences que j'ai instituées sur le blé.

Elles confirment les résultats précédents; elles nous permettent donc de déduire les conclusions suivantes :

1° L'emploi des engrais phosphatés comme complément du fumier est à recommander sur toutes les terres de la Puisaye, soumises à l'assolement du pays;

2° Dans les sols silicéo-ferrugineux ou silicéo-argileux des couches supérieures de l'infra-crétacé leur influence sur le rendement est de beaucoup supérieure à celle qu'on en obtient sur les sols argileux ou argilo-calcaires du calcaire à spatangues et des marnes ostréennes;

3° De tous les engrais phosphatés, seuls le phosphate précipité, les scories de déphosphoration, à dosage élevé et garanti et le superphosphate sont à recommander; à prix égal, ces fumures d'origine différente sont d'une efficacité directe analogue.

Les doses de 500 à 600 kilogr. de superphosphate à 15 p. 100; 800 à 1 000 kilogr. de scories 16/18; 200 à 250 kilogr. de phosphate précipité, sont les meilleures doses, il n'y a aucun intérêt économique à les augmenter; les frais de la fumure se maintiennent ainsi de 45 à 50 fr. par hectare.

Céréales de printemps.

Les excellents effets de l'apport supplémentaire d'acide phosphorique pour le blé nous ont conduit à vérifier si, dans les mêmes conditions, cette influence est aussi marquée et aussi avantageuse, lorsqu'on applique directement aux céréales de printemps, avoine et orge, les mêmes engrais phosphatés.

Dans ce but, nous avons institué en 1893, 1894, 1895, 12 expériences où les engrais phosphatés et les engrais azotés étaient mis

en comparaison. Ces céréales succédaient à des blés ayant reçu exclusivement du fumier de ferme, quelques-unes succédaient à une pâture de 4 à 5 ans. Les conditions étaient donc absolument identiques à nos essais sur le blé et à *priori* on pouvait espérer des résultats analogues à ceux que nous avons rapportés. Il n'en a rien été, sauf dans un cas de défrichement de lande, où ces engrais ont eu une influence marquée, nous n'avons observé partout ailleurs, à la récolte, aucune différence appréciable *ni dans le poids du grain ni dans le poids de la paille.*

Ce fait observé dans toutes ces expériences n'est pas accidentel. Les résultats négatifs de ces essais ne sont pas pour cela sans intérêt et, s'il est vrai qu'il n'entre guère dans la pratique courante d'user d'engrais complémentaires sur ces céréales, ceci démontre qu'on ne saurait généraliser les effets d'une catégorie d'engrais à toutes les céréales indistinctement.

Mais il est juste de dire que si nous avons constaté que les engrais phosphatés ne sont pas avantageusement employés sur ces plantes, ce n'est pas qu'elles soient insensibles à l'acide phosphorique. Nous avons remarqué au contraire sur toutes nos parcelles à superphosphates, scories et phosphate précipité, une végétation de début beaucoup plus régulière, plus précoce que sur les voisines, mais cette phase rapide du début aboutissant à une maturité avancée de 8 à 10 jours n'a pas eu pour effet, comme dans le cas du blé, d'*augmenter d'une façon sensible le rendement.*

Il en est tout autrement des engrais azotés solubles : sauf lorsque l'avoine succède à une vieille pâture défrichée à l'automne, le nitrate de soude et le sulfate d'ammoniaque sont employés avantageusement au moment de la semaille ou quelque temps après. Mais il est à remarquer que cette influence des engrais azotés est entièrement variable ; elle est subordonnée aux conditions météorologiques du printemps et leur réussite n'est pas aisée à prévoir. Dans notre région, la sécheresse en fin mai et juin est désastreuse pour ces céréales.

Les engrais phosphatés et les plantes sarclées.

Dans nos exploitations, les plantes sarclées occupent du sixième au quart de la sole de jachère; on cultive ainsi en vue du fourragement d'hiver principalement la betterave fourragère, la pomme de terre, à laquelle, à mon avis, on ne donne pas assez d'importance, le choux-navet et enfin la carotte.

Nous avons cherché s'il n'y aurait pas intérêt pour les cultivateurs à ajouter (principalement lorsqu'à la suite de pénurie fourragère, ils disposent d'une quantité insuffisante de fumier) des engrais phosphatés à la fumure ordinaire. A ces engrais nous avons associé les sels minéraux azotés, enfin des sels potassiques afin de reconnaître si dans le cas de cultures réputées exigeantes en potasse l'emploi de ces dernières ne serait pas de même que pour les céréales une ruineuse superfétation. Nous allons examiner successivement l'action de ces engrais sur: betteraves, choux, raves, pommes de terre et carottes.

Betteraves fourragères.

Il est d'usage, et l'expérience montre que cette pratique se justifie à tous les points de vue, d'élever les betteraves en pépinière pour les repiquer sur billons fin mai ou juin. J'ai montré dans les *Annales agronomiques* (juin 1894) que le semis, outre qu'il exige des frais d'entretien plus considérables, donne une récolte inférieure d'un tiers, souvent même de la moitié à ce qu'on peut obtenir par repiquage.

Le fumier est appliqué suivant la méthode locale avant la formation des billons; les engrais minéraux, répandus à la volée, ont été enterrés de la même manière [1].

Le nitrate de soude a été répandu à deux reprises lors des binages d'entretien. Les résultats que je vais d'abord rapporter ont été obte-

---

1. Cette pratique expéditive me paraît inférieure à celle qui consiste à serrer l'engrais derrière la charrue, de sorte qu'il se trouve localisé suivant l'axe des billons à une profondeur de $0^m,15$ à $0^m,18$. Des essais en cours nous permettront d'en juger cette année.

nus en 1892, année relativement anormale à cause de sa sécheresse ayant quelque analogie avec celle de 1893.

De l'examen du tableau III il ressort notamment :

1° Que, dans la circonstance, 40 000 kilogr. de fumier n'ont pas donné de meilleurs résultats que 200 kilogr. de nitrate de soude ;

2° Le nitrate de soude appliqué comme supplément du fumier à haute dose a élevé de 16 000 à 30 000 kilogr. le rendement, soit un excédent de 14 000 kilogr. avec une dépense de 50 fr. par hectare ou 220 kilogr. pour 1 fr. de dépense ;

3° Avec une dépense qui varie de 22 fr. 50 à 50 fr., suivant l'origine de l'acide phosphorique, on obtient, avec une modeste fumure de 20 000 kilogr., des rendements aussi élevés qu'avec le fumier à haute dose et nitrate de soude ;

4° Au point de vue économique, le superphosphate a été le plus avantageux.

Betteraves 1894.

Argiles de Myennes. Sol argilo-siliceux.

L'année 1894 a présenté des conditions météorologiques normales favorables à la végétation. Le fumier employé avec parcimonie était en outre de lente décomposition ayant été recueilli sur des feuilles tirées des bois. Les résultats inscrits dans le tableau IV sont des plus probants. L'examen des deux colonnes 4 et 5 fait ressortir l'influence des fumures phosphatées sur la betterave et montre qu'avec elles seules, on a obtenu des excédents variant de 23 900 à 33 700, la dépense allant de 42 fr. 50 à 70 fr. par hectare.

On voit en outre que les rendements les plus élevés sont obtenus dans la série à base de superphosphate, les scories phosphoreuses n'en ont pas moins donné un excédent dont le prix de revient est inférieur à celui de la série à superphosphate. Au point de vue du résultat économique, elles occupent donc un très bon rang.

Si ensuite on examine l'influence des engrais azotés et potassiques ajoutés aux phosphates, il est visible que les sels potassiques dont l'emploi élève si démesurément le prix de la fumure ne sont pas avantageux. Le nitrate de soude ainsi employé avant le billonnage

TABLEAU III. — Année 1892. Influence des engrais complémentaires en sols siliceux des sables de la Puisaye C³.

	TÉMOINS sans fumier ni engrais complémentaire.	NITRATE de soude seul 200 kilogr.	FUMIER seul 40 000 kilogr. (haute dose).	FUMIER 40 000 kilogr. et nitrate de soude 200 kilogr.	FUMIER 20 000 kilogr. superphosphate 300 kilogr.	FUMIER 20 000 kilogr. phosphate précipité 160 kilogr.	SCORIES du Creusot 1 000 kilogr.
Prix de ces fumures minérales. . . . . fr.	»	50	»	50	22,50	41,20	50
Betteraves fourragères.							
Géante de Vauriac. . .	12 800	25 600	27 200	52 000	49 400	44 800	38 650
Ovoïde des Barres . . .	6 128	21 600	27 600	37 750	48 800	42 050	41 600
Globe jaune	16 960	35 200	24 000	37 880	40 800	32 950	33 280
Tankard.	13 440	»	34 270	»	44 160	36 000	29 440
Mammouth.	8 800	29 800	28 800	40 800	41 850	31 200	29 950
Moyennes générales des rendements sur les parcelles différemment fumées (chiffres ronds).	11 600	28 000	28 300	42 100	45 000	37 400	33 550
Excédents sur la parcelle témoin	»	*16 400*	*16 700*	*30 500*	*33 400*	*25 800*	*21 950*
Betteraves à sucre.							
Améliorée Vilmorin. . .	9 040	»	21 600	»	28 400	20 000	19 600
Fouquier d'Hérouel . .	8 000	»	25 600	»	30 000	24 000	27 600
Klein Wanzleben. . . .	4 800	»	24 000	»	29 600	23 600	19 200
Électorale Knauer . . .	7 200	»	31 600	»	35 600	30 400	25 600
Blanche à sucre allemande.	8 400	»	32 400	»	38 000	30 800	22 800
Moyenne générale des rendements sur les parcelles différemment fumées	7 450	»	27 000	»	32 300	25 750	22 950

TABLEAU IV. — Année 1894. Betteraves fourragères. Sol argilo-siliceux des argiles de Myennes.

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX des fumures minérales.	PRODUIT brut à l'hectare.	EXCÉDENT total dû aux fumures minérales.	EXCÉDENT rapporté à 1 fr. de dépense.
	fr.	kilogr.	kilogr.	
Témoin fumier seul.	»	15 000	»	»
Fumier et superphosphate 16/18 os, 300 kilogr.	69,00	48 700	33 700	488
Fumier, superphosph. et nitrate de soude, 200 kilogr.	119,00	56 500	41 500	365
Fumier et superphosphate + sulfate de potasse, 200 kilogr.	123,30	47 500	32 500	264
Fumier et superphosphate + chlorure de potassium, 200 kilogr.	119,00	48 700	33 700	291
Fumier et phosphate précipité, 300 kilogr.	70,2	46 200	31 200	445
Fumier et phosphate + nitrate de soude, 200 kilogr	120,70	54 200	39 200	326
Fumier, phosph et sulf. de potasse, 200 kil.	124,50	50 000	35 000	282
Fumier et scories de Lamarche, 1 000 kilogr.	42,50	38 900	23 900	568
Fumier et scories + nitrate de soude, 200 kilogr.	93,50	47 900	32 900	355
Fumier et scories + chlorure de potassium, 200 kilogr	92,50	38 200	23 200	252
Fumures minérales complètes additionnées au fumier de ferme :				
1° Superphosphate 16/18. . . 600 k. Nitrate de soude . . . . . 200 k. Sulfate de potasse. . . . . 200 k.	173,8	49 200	34 200	199
2° Phosphate précipité . . . . 300 k. Nitrate de soude . . . . . 200 k. Sulfate de potasse. . . . . 200 k.	175,00	63 500	48 500	278
3° Scories de Lamarche. . . . 1 000 k. Nitrate de soude . . . . . 200 k. Sulfate de potasse. . . . . 200 k.	147,30	49 600	34 600	235

Les prix sont établis sur ceux du syndicat auxerrois :

Superphosphate d'os 16/18.	11f,10	Chlorure de potassium. .	25f,00
Sulfate de potasse.	27 ,15	Phosphate précipité. . .	23 ,10
Scories Lamarche.	4 ,25	Nitrate de soude.	25 ,25

c'est-à-dire avant le repiquage des betteraves, n'a pas eu une puissance d'accroissement comparable à celle qu'il avait montrée précédemment. Son action est beaucoup plus marquée lorsqu'il est employé par doses fractionnées précédant les binages donnés pendant la végétation.

Betteraves 1896.

Argiles de Myennes C^2. Sols silico-argileux de la vallée de Branlin.

Les argiles de Myennes sur leur bord, avec les argiles bariolées, sont recouvertes d'un sol formé de silice à grains très fins réunis par une argile blanche. Le sous-sol argileux, rouge marbré de blanc, est très imperméable; aussi, ces terres sont difficilement abordables dans les périodes pluvieuses, la végétation y est tardive, les blés sujets à un déchaussement excessif et la pomme de terre y contracte très aisément la pourriture. Ces terres sont à ce point dépourvues de calcaire que les eaux de puits employées comme potables sont toujours limoneuses: pendant les sécheresses, leur degré de clarté ne dépasse jamais l'opalescence.

Aussi les cultivateurs expriment très bien les propriétés physiologiques et physiques de ces terres qu'ils désignent sous le nom de *terres mortes*. Elles sont bien mortes, en effet, ces terres lourdes où l'action ameublissante des façons mécaniques est si vite détruite par la première pluie, qui les bat comme une aire de grange, les transformant ainsi en un bloc imperméable à l'air. Notre expérience de 1896, faite sur ces sols très médiocres, a donné les résultats suivants:

Ces chiffres indiquent une supériorité économique incontestable des superphosphates et phosphate précipité sur les scories et le phosphate fossile.

Il est à remarquer que c'est la première fois que nous constatons l'influence de ce dernier dans nos cultures: nous l'avions soupçonnée l'année précédente sur un sol semblable, ici elle ne fait aucun doute, le phosphate de l'Auxois n'est pas resté inerte vis-à-vis de la betterave et surtout pour les choux-navets. Ce fait mérite d'être vérifié.

Cette expérience montre en outre l'influence prépondérante de

TABLEAU V.

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX de la fumure minérale.	BETTERAVES. Rendement à l'hectare	BETTERAVES. Excédent dû à la fumure minérale.	BETTERAVES. Excédent obtenu avec une dépense de 1 fr.	CHOUX-NAVETS. Rendement à l'hectare	CHOUX-NAVETS. Excédent dû à la fumure minérale.	CHOUX-NAVETS. Excédent obtenu avec une dépense de 1 fr.
	fr.	kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.	
Témoin fumier seul, 18 000 kil.	»	25 000	»	»	10 000	»	»
Fumier et superphosphate 13/15, 600 kilogr.	42	36 000	11 000	262	25 000	15 000	357
Fumier et scories de Longwy 15/17, 1 000 kilogr.	46	30 000	5 000	108	29 500	19 500	424
Fumier et phosphate précipité 37/40, 200 kilogr.	46	37 000	12 000	260	24 300	14 300	310
Fumier et phosphate de l'Auxois, 700 kilogr.	45,5	35 000	10 000	242	30 000	20 000	440
Fumier et superphosphate, 600 k. + nitrate 200 kilogr. avant labour.	92	41 000	16 000	174	33 000	23 000	250
Fumier et superphosphate, 600 k. + nitrate 200 kilogr. pendant la végétation	92	44 250	19 250	209	33 000	23 000	250
Fumier et superphosphate, 600 k. + sulfate d'ammoniaque 150 k.	81	40 000	15 000	185	»	»	»
Fumier et scories, 1 000 kilogr. + nitrate 200 k. avant labour.	96	30 000	5 000	52	32 000	22 000	230
Fumier et scories, 1 000 kilogr. + nitrate 200 kilogr. pendant la végétation	96	42 000	17 000	175	34 000	24 000	250
Fumier et phosphate précipité, 200 k. + sulfate AzH^4O 150 k. avant labour.	85	45 000	20 000	235	36 400	26 400	310
Fumier et nitrate seul, 200 kil. avant labour.	50	33 000	8 000	160	16 000	6 000	120
Fumier et nitrate, 100 kil. avant labour + 100 k. en végétation.	50	30 000	5 000	100	16 000	6 000	120
Fumier et sulfate d'ammoniaque seul, 150 kilogr. avant labour.	39	31 500	6 500	160	17 500	7 500	192

Les prix étaient en 1896 :

Superphosphate 13/15, les 100 k.	7f,00	Nitrate de soude	25f,00
Phosphate précipité.	23 ,00	Sulfate d'ammoniaque.	26 ,00
Scories 15/17	4 ,60		

l'acide phosphorique sur les choux-navets. Avec une dépense de 42 à 45 fr. par hectare, la misérable récolte de 10 000 kilogr. du lot témoin est passée à 30 000 kilogr., il n'est pas inutile non plus de faire remarquer que cette plante *paraît* en quelque sorte indifférente à la forme de combinaison de l'acide phosphorique.

En ce qui concerne les engrais azotés, on voit que, employés avant le repiquage, nitrate de soude et sulfate d'ammoniaque ont une action très inférieure à celle qu'ils possèdent lorsqu'on les répand pendant la végétation, c'est-à-dire fin juin et juillet.

Quant à la préférence à accorder à l'un ou l'autre de ces sels azotés, ici le choix paraît indifférent. Dans ces sols frais, le sulfate d'ammoniaque paraît, au prix actuel surtout, au moins égal au nitrate de soude. C'est la première fois que nous constatons un effet marqué du sulfate d'ammoniaque dans notre région.

Il me reste à examiner si de semblables résultats peuvent être attendus de l'emploi de ces engrais dans la culture de la pomme de terre. Mais, avant d'aller plus loin, il convient de rapporter ici les résultats d'une expérience faite en 1892 sur 2 plantes cultivées sur une petite surface dans la Puisaye : ce sont les carottes et le maïs-fourrage. Comme on va le voir, les résultats sont très probants et confirment les précédents.

TABLEAU VI. — Année 1893. Carottes fourragères et maïs sur sol sableux C³.

	TÉMOINS ni fumier ni autres engrais.	FUMIER seul haute dose 40 000 kilogr.	FUMIER 18 000 KILOGR. ET		
			superphosphate 300 kilogr.	phosphate précipité 150 kilogr.	scories 1 000 kilogr.
Carotte blanche d'Orthe	21 600	35 200	46 400	51 200	41 600
Blanche des Vosges	15 200	30 400	41 600	35 200	36 800
Longue à collet vert.	15 200	45 200	43 200	38 400	35 200
Moyennes générales des parcelles différemment traitées par fumures minérales.	17 330	36 930	43 730	41 600	41 200
Maïs caragua. Récolte en vert	27 500	42 250	46 250	44 750	52 500

On remarque que l'emploi simultané des engrais phosphatés et

d'une petite fumure ordinaire au fumier donne de meilleurs résultats qu'une haute dose de fumier seul. Le superphosphate a eu une action supérieure aux autres engrais de la même catégorie, mais cette supériorité disparaît dans le cas du maïs céréale qui se comporte comme le blé.

Pommes de terre.

Les bons effets d'une fumure minérale appliquée directement à la culture de cette précieuse plante fourragère ne sont pas à beaucoup près aussi tangibles, aussi nets que ceux que nous avons rapportés pour les autres plantes. Cela tient à ce que le rendement de la pomme de terre est influencé dans une large mesure par la grosseur, la densité des semenceaux, par l'espacement. Une irrégularité dans le plant d'une parcelle à l'autre suffit pour masquer l'influence de la fumure ; à la suite de divers essais, nous avons constaté des variations du simple au double, suivant qu'on s'adresse aux petits ou aux gros tubercules.

Les expériences rapportées ci-dessous ont été établies sur le même plan : addition de fumure minérale enterrée au moment de la plantation après avoir été répandue à la volée à la surface du champ.

TABLEAU VIII. — Année 1894. Grès ferrugineux du Thureau C³. Sols siliceux pierreux perméables inconsistants, secs et superficiels. (*1er Essai.— Ferme des Janels.*)

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX de la fumure minérale.	RENDEMENTS BRUTS à l'hectare.				DIFFÉRENCE en + ou en — par rapport au témoin.
		Grosses.	Moyennes.	Petites.	Total.	
	fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Témoin fumier seul, 18 000 kilogr. .	»	750	10 150	2 750	13 650	»
Scories seules, 1 000 kilogr.	42,50	450	5 500	3 750	9 700	— 3 950
Superphosphate, 600 kilogr.	47,40	550	6 300	3 750	10 600	— 3 050
Témoin.	»	»	10 000	2 250	12 250	— 1 400
Superphosphate, 600 kilogr. + 100 k. de carbonate de potasse	145,40	2 200	14 550	2 650	19 400	+ 5 750
Superphosphate + $KOSO^3$ 200 kilogr.	74,55	3 850	14 000	3 200	21 050	+ 7 400
Scories, 1 000 kil. + $KOCO^2$ 100 kil.	140,50	1 950	9 250	2 100	13 300	+ 350
Scories, 1 000 kil. + $KOSO^3$ 200 kil. viande moulue, 200 kilogr	134,00	1 800	13 650	2 350	17 800	+ 4 150

TABLEAU IX. — Année 1894. Pommes de terre en sols silicéo-ferrugineux et secs du Thureau C³. (2e *Essai.*)

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX de la fumure minérale.	RENDEMENTS BRUTS à l'hectare. Grosses.	Moyennes.	Petites.	Total.	DIFFÉRENCE en + ou en — sur la parcelle témoin.
	fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1° Témoin fumier seul.	»	350	8 950	2 000	11 300	»
Superphosphate 13/15. Seul, 600 kilogr.	47,4	1 100	13 250	2 750	17 100	+ 5 800
+ Sulfate de potasse, 200 k.	101,7	1 500	12 200	2 250	15 950	+ 4 650
+ Carbonate de pot., 100 k.	96,0	650	9 500	2 050	12 100	+ 1 800
+ Sulfate de potasse, 200 k. + viande moulue, 200 k.	141,7	1 300	10 150	2 650	14 100	+ 2 800
Scories phosphoreuses, 1 000 kilogr. Seules, 1 000 kilogr	42,5	250	7 000	1 900	9 150	— 2 150
+ Sulfate de potasse, 200 k.	96,5	1 600	9 350	3 300	14 250	+ 2 950
+ Carbonate de pot., 100 k.	91,5	850	9 000	2 300	12 150	+ 850
+ Sulfate de potasse, 200 k. + viande moulue, 200 k.	136,5	2 520	7 500	4 950	14 970	+ 2 670
Phosph. précipité, 300 k. Seul, 300 kilogr.	70,2	750	7 600	5 250	13 600	+ 2 300
+ Sulfate de potasse, 200 k.	124,0	1 700	12 600	3 900	18 200	+ 6 900
+ Carbonate de pot., 100 k.	119,2	1 500	11 800	3 250	16 550	+ 5 250
Posphate de l'Auxois, 800 kilogr. . .	51,2	1 050	7 850	1 650	10 550	— 0 750
Phosphate + sulfate de potasse, 200 k.	105,2	950	10 650	1 800	13 400	+ 2 100
2° Témoin fumier seul.	»	400	7 400	1 900	9 700	»
Superphosphate minéral seul, 600 kil.	47,4	350	12 100	2 200	14 650	+ 3 350
2e Série. Sol siliceux graveleux. Dépôt tertiaire mélangé aux sables de la Puisaye. (3e *Essai.*)						
Témoin fumier seul	»	»	6 900	2 100	9 000	»
Superphosphate, 600 kilogr. Seul avec fumier.	47,4	»	5 850	2 700	8 550	— 450
+ Carbonate de pot., 100 k.	96,0	»	6 750	2 700	9 450	+ 450
+ Carbonate de pot., 100 k. + viande moulue, 200 k.	136,0	»	8 800	2 950	11 750	+ 2 750
Phosphate précipité, 300 kilogr. Seul	70,2	»	6 800	3 200	10 000	+ 1 000
+ Carbonate de pot., 100 k.	119,2	»	11 400	2 550	13 950	+ 4 950
+ Sulfate de potasse, 200 k.	124,0	»	13 050	2 700	15 750	+ 6 750
+ Carbonate de pot., 100 k. + viande moulue, 200 k.	159,0	»	14 000	2 600	16 600	+ 7 600
Scories, 1 000 kilogr. Seules.	42,5	»	7 700	3 200	10 900	+ 1 900
+ Carbonate de pot., 100 k.	91,5	»	9 300	2 400	11 700	+ 2 700
+ Carbonate de potasse + viande moulue, 200 kilogr.	131,5	»	13 050	3 200	16 250	+ 7 250
Carbonate de potasse seul, 100 kilogr.	49,0	»	12 550	2 350	14 900	+ 5 900

TABLEAU X. — Année 1894. Pommes de terre en sol argilo-siliceux des sables de la Puisaye C³. (*4e Essai.*)

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX de la fumure minérale.	RENDEMENTS BRUTS à l'hectare. Grosses.	Moyennes.	Petites.	Total.	DIFFÉRENCE en + ou en — avec parcelle témoin.
	fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Témoin fumier seul	»	1 300	9 050	1 850	12 200	»
Superphosphate 13/15. Seul, 600 kilogr.	47,4	1 200	8 550	5 450	15 200	+ 3 000
Superphosphate 13/15. Sulfate de potasse, 200 kilogr.	101,7	550	9 800	4 250	14 600	+ 2 400
Superphosphate 13/15. Sulfate de KO, 200 kil. + sulfate d'AzHO⁴, 200 kilogr.	165,7	1 800	13 950	5 150	20 900	+ 8 700
Superphosphate 13/15. Carbonate de potasse, 200 kil.	145,0	2 500	10 800	2 850	16 150	+ 3 950
Sulfate de potasse seul, 200 kilogr.	54,0	1 450	10 950	2 750	15 150	+ 2 950
Carbonate de potasse seul, 100 kilogr.	49,0	1 550	10 400	2 500	14 450	+ 2 250
Scories phosphoreuses. Seules, 1 000 kilogr.	42,5	1 300	11 550	3 250	16 100	+ 4 900
Scories phosphoreuses. + Sulfate de potasse, 200 kil.	69,05	1 200	11 650	2 900	15 750	+ 3 350
Scories phosphoreuses. + Sulfate de KO, 200 k. + sulfate d'AzHO⁴, 200 kilogr.	133,65	2 800	13 750	3 100	19 650	+ 7 450
Scories phosphoreuses. + Sulfate de potasse, 200 k. + viande moulue, 200 kil.	109,0	4 200	13 300	2 550	20 050	+ 7 850
Scories phosphoreuses. + Carbonate de potasse, 100 kilogr.	49,0	2 800	12 700	3 000	18 500	+ 6 300
Année 1895. Expérience faite sur le même sol et après pâture. (*5e Essai.*)						
Témoin fumier seul	»	»	»	»	17 700	»
Phosphate de l'Auxois, 800 kilogr.	58,0	»	»	»	17 700	»
Superphosphate seul, 600 kilogr.	47,4	»	»	»	20 600	+ 2 900
Superphosphate + nitrate de soude, 200 kilogr.	72,4	»	»	»	26 800	+ 9 100
Scories de déphosphor. seule, 1 000 k.	42,5	»	»	»	20 300	+ 2 600
Scories de déphosphoration + 200 k. de nitrate de soude	92,5	»	»	»	24 400	+ 6 700
Phosphate précipité, 300 kilogr.	69,0	»	»	»	24 100	+ 6 400
Phosphate + nitrate de soude, 200 k.	119,0	»	»	»	23 600	+ 5 900
Phosphate + sulfate d'ammon., 200 k.	131,0	»	»	»	24 100	+ 6 400
Phosphate + sulfate de potasse, 200 kilogr.	122,0	»	»	»	23 300	+ 5 600
Nitrate enfoui par labour, 400 kilogr.	100,0	»	»	»	22 400	+ 4 700
Id. id. 300 kilogr.	75,0	»	»	»	20 700	+ 3 000
Id. id. 200 kilogr.	50,0	»	»	»	19 800	+ 2 100
Sulfate d'ammoniaque, 200 kilogr.	62,0	»	»	»	16 400	— 1 300

Observations. — D'après les chiffres contenus dans ce tableau, on constate que le superphosphate et les scories, loin d'avoir été utiles, ont occasionné une diminution dans le rendement. Ce fait en apparence peu vraisemblable est dû à un accident, à une maladie. Dans cette expérience dont je ne puis donner la totalité des résultats par suite d'une méprise du cultivateur, j'ai constaté que l'acide phosphorique dès le début de la végétation se manifestait très nettement par une vigueur exceptionnelle des fanes et la largeur des feuilles; en somme, tout l'appareil foliaire en avance de développement sur les parcelles témoins se dessinait sur le reste par son état plantureux. Il n'était donc pas permis de prévoir une diminution de rendement vis-à-vis des témoins. Mais en fin juillet, commencement d'août, dans ces parcelles précoces des taches noires apparurent sur les feuilles et sur la tige.

Le limbe des feuilles s'épaississait, devenait cassant, jaunâtre, les bords se recoquevillaient et au bout de quelques jours les feuilles noires séchaient sur pied, de même que les fanes. Au 15 août[1], sur ces parcelles qui n'avaient rien que des phosphates, il n'y avait plus de feuilles.

Les tableaux IX et X résument les résultats obtenus en 1894-1895 sur sols analogues. L'examen des chiffres de ces 5 expériences ne fait pas ressortir aussi nettement que pour les autres plantes l'influence des engrais minéraux. De cet ensemble de résultats essayons cependant de tirer quelque enseignement :

1° Les engrais phosphatés ont-ils été utiles ? Les tableaux VIII, IX et X ne permettent pas de conclure en ce sens d'une manière générale.

Ainsi on constate que le superphosphate a donné, pour une dépense de 47 fr. 40 :

N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.
Diminution.	Augmentation.	Diminution.	Augmentation.	Augmentation.
—	—	—	—	—
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
3 050	5 800	450	3 000	2 900

1. N'est-ce pas à l'absence de potasse et d'azote que doit être attribué ce résultat ? De nouvelles expériences seraient nécessaires pour fournir une explication de ces faits. La maladie de la pomme de terre aurait dû être prévenue par le sulfatage.

(*Note de la Rédaction.*)

Les scories de déphosphoration, pour une dépense de 42 fr. 50 :

N° 1. Diminution.	N° 2. Diminution.	N° 3. Augmentation.	N° 4. Augmentation.	N° 5. Augmentation.
—	—	—	—	—
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
3 095	2 150	1 900	4 900	2 600

Le phosphate précipité a donné, pour une dépense de 70 fr. :

N° 1.	N° 2. Augmentation.	N° 3. Augmentation.	N° 4.	N° 5. Augmentation.
—	—	—	—	—
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
»	2 300	1 000	»	6 400

Le phosphate de l'Auxois n'a donné aucun résultat.

2° Au point de vue économique, l'efficacité de ces engrais ne me paraissant pas assurée dans nos terrains, j'estime que les écarts de plus-value n'en justifient l'emploi direct que dans certains cas. L'expérience montre que *les sols bas à sous-sols imperméables bénéficient seuls, avec certitude,* des phosphates dans la culture de la pomme de terre. Il y a en outre lieu de remarquer que les scories se sont montrées très inférieures au superphosphate et au phosphate précipité. Ce dernier surtout me paraît préférable parce que dans nos essais où il était employé à côté du superphosphate, nous n'avons pas remarqué comme chez celui-ci le développement de la frisolée, cette maladie qui dessèche les feuilles et les fanes en pleine période d'activité.

Enfin, il est aisé de voir que l'emploi des engrais phosphatés ne provoque pas une augmentation dans le rendement brut rappelant celles que nous avons constatées pour les céréales d'automne et pour les plantes racines. Ainsi dans nos essais le superphosphate a donné :

1° Une augmentation de 5 800 kilogr. sur le terrain ayant un produit de 11 300 kilogr., soit excédent de 52 p. 100 ;

2° Une augmentation de 3 000 kilogr. sur le terrain ayant un produit de 12 200 kilogr., soit excédent de 26 p. 100 ;

3° Une augmentation de 2 900 kilogr. sur le terrain ayant un produit de 17 700 kilogr., soit excédent de 16 p. 100.

Le phosphate précipité a donné au maximum un excédent de

36 p. 100, tandis que les scories ont donné des excédents de 14, 21 et 40 p. 100 avec complets insuccès dans les autres cas.

Quant aux engrais azotés et potassiques, on remarque qu'ils ont régulièrement augmenté le rendement brut, seuls ou associés aux engrais phosphatés. Malheureusement, ces engrais élèvent démesurément le prix de la fumure minérale en considération de la plus-value qu'on en obtient.

Les engrais azotés seraient peut-être utilement et avantageusement employés. Je dis peut-être, car dans la Puisaye, où la pomme de terre est cultivée après défrichement de vieille pâture temporaire, c'est-à-dire sur sol bien pourvu de matières organiques, elle peut y trouver, en beaucoup de circonstances, avec la fumure ordinaire, une quantité d'azote suffisante.

C'est le cas des défrichements faits avant l'hiver.

Enfin j'ai constaté que le choix des semenceaux, les labours profonds et l'emploi de variétés appropriées sont capables d'élever les rendements de la pomme de terre dans une mesure plus considérable que les engrais minéraux et avec beaucoup moins de frais.

Il semble qu'on est autorisé à dire que, dans notre assolement de la Puisaye, l'avoine et la pomme de terre sont de médiocres utilisatrices de fumures minérales directes et en particulier de l'acide phosphorique.

Haricots.

Les haricots cultivés en plein champ dans la sole de jachère sont extrêmement sensibles à l'apport supplémentaire d'acide phosphorique.

En 1896, nous avions sur des parcelles d'un are mis en comparaison les superphosphates, scories, phosphate précipité et sels potassiques.

L'effet des engrais phosphatés était des plus saisissants : les touffes de couleur vert tendre tranchaient sur les touffes chétives des parcelles témoins ou des parcelles à engrais potassiques. Cette exubérance des végétations dissimulait la belle récolte très supérieure à celles des parcelles voisines. Les cosses plus abondantes et beaucoup

plus longues nous permettaient d'espérer un rendement doublant au minimum celui des témoins. Les circonstances n'ont pas permis de contrôler par les pesées de la récolte les remarquables effets constatés pendant la végétation. Nous pouvons dire que, sur cette plante à cycle végétatif si court, le phosphate précipité et le superphosphate ont été de beaucoup supérieurs aux scories. Enfin, du début de la végétation jusqu'à la récolte, il n'a pas été donné de soupçonner une action quelconque de la fumure potassique. C'est là une preuve nouvelle que l'apport d'élément fertilisant est inutile dans notre région des sables de la Puisaye.

Prairies artificielles.

La luzerne n'est cultivée que sur les marnes ostréennes et sur le calcaire à spatongues. Sa durée de bonne production ne va pas au delà de 4 à 5 ans. C'est sur une jeune luzernière de 2 ans établie à la lisière du portlandien et des marnes ostréennes que nous avons fait l'expérience suivante (ancienne ferme-école de l'Orme-du-Pont).

Elle avait pour but : 1° de rechercher si l'apport d'acide phosphorique et de potasse ne serait pas avantageusement employé et à quelle source ces matières fertilisantes devraient être empruntées.

Enfin je voulais subsidiairement montrer aux cultivateurs l'inefficacité des sels azotés, sulfate d'ammoniaque et nitrate de soude qu'ils étaient tentés de considérer comme des engrais d'application universelle.

Les carrés d'un are étaient entourés d'une bordure de 2 mètres servant de témoin. Pendant la végétation, on pouvait ainsi voir très aisément l'influence des engrais ; cette bordure a formé en effet dans la suite un encadrement vert-jaunâtre autour de nos parcelles à végétation luxuriante et d'un vert foncé et très touffues.

Luzerne sur sol argileux pierreux des marnes ostréennes.

L'expérience comportait 18 parcelles de 1 are disposées en trois rangées ; chaque rangée était séparée de la suivante par une bande

de 4 mètres. Les carrés séparés entre eux par une bande latérale de 2 mètres de large. L'emplacement a été choisi de manière à ce que toutes nos parcelles aient un plant d'une densité égale ; condition indispensable si l'on veut se rendre compte par la pesée du fourrage de l'effet produit par la fumure.

Les engrais ont été répandus à la volée au 15 mars 1894.

Sur la première coupe, l'effet a naturellement été nul : les racines de la luzerne de deux ans sont déjà descendues profondément et comme nous n'avons pu obtenir qu'un bon hersage enterrât nos engrais, ceux-ci ne se sont révélés sur la végétation qu'à partir de fin juillet-août. La seconde coupe ayant été pâturée, nous ne pouvons rapporter que la physionomie de la végétation. Elle était d'ailleurs très démonstrative.

Sur le fond jaunâtre de la pièce, le superphosphate, le phosphate précipité et les sels potassiques se révélaient en dessinant une mosaïque très nette par la vigueur, la couleur foncée du plus parfait contraste avec les environs.

Comme il avait été prévu, les parcelles à nitrate et à sulfate d'ammoniaque, de même qu'à phosphate fossile ne présentaient aucune différence avec leurs voisines.

A priori, on pouvait estimer que la supériorité appartenant au superphosphate, et des deux engrais potassiques, le sulfate de potasse à faible dose donnait de meilleurs résultats que le chlorure de potassium à dose ordinaire : 200 kilogr. Enfin, ajoutés au superphosphate, les sels de potasse ont encore augmenté le rendement. Fait à noter, le bétail fréquentait plus spécialement nos carrés d'essais, c'est apparemment qu'il y rencontrait un fourrage meilleur. L'analyse botanique montrait, en effet, que dans nos parcelles la végétation spontanée avait été étouffée par la luzerne, qui composait ainsi à elle seule tout le fourrage.

L'année suivante, 1895, nous avons observé les mêmes effets d'une manière plus accusée encore, et le fauchage nous a donné les résultats suivants (le foin a été pesé un jour après fauchage, lorsqu'il était bien ressuyé).

Les chiffres contenus dans ce tableau permettent d'apprécier la valeur relative des engrais apportés l'année précédente ; leur action,

visible à l'automne 1894, s'est prolongée pendant toute la durée de la luzernière et à peu près dans le même rapport.

DÉSIGNATION DES FUMURES.	PRIX de la fumure minérale.	RENDEMENT brut à l'hectare	EXCÉDENT sur les témoins.	AUGMENTATION centésimale du rendement.
	fr.	kilogr.	kilogr.	P. 100.
Témoin	»	5 000	»	»
Superphosphate minéral seul, 400 kilogr.	31,6	9 500	4 500	90
Id. + sulfate de potasse, 150 kilogr.	71,1	11 400	6 400	128
Id. + chlorure de potassium, 150 k.	69,10	10 700	5 700	114
Phosphate précipité, 150 kilogr.	36,6	8 200	3 200	64
Id. + sulfate de potasse, 150 kilogr.	77,10	10 500	5 500	11
Id. + chlorure de potassium, 150 kilogr.	74,10	9 800	4 800	96
Phosphate de l'Auxois, 500 kilogr.	35,75	5 200	200	4
Id. + sulfate de potasse, 150 kilogr.	76,25	7 700	2 700	54
Id. + chlorure de potassium, 150 kilogr.	72,25	6 000	1 000	20
Sulfate de potasse seul, 150 kilogr	40,50	12 100	7 100	142
Chlorure de potassium seul, 150 kilogr.	37,50	11 200	6 200	124
Sulfate de potasse seul, 200 kilogr.	54,0	13 200	8 200	164
Chlorure de potassium seul, 200 kilogr.	50,0	13 000	8 000	160
Sulfate d'ammoniaque, 170 kilogr.	52,70	7 500	2 500	50
Nitrate de soude, 200 kilogr.	50,0	7 700	2 700	54

Superphosphate minéral 13/15.	7f,90	Phosphate précipité.	23f,10
Id. d'os 16/18.	11 ,40	Sulfate de potasse.	27 ,00
Chlorure de potassium	25 ,90	Nitrate de soude	25 ,00
Phosphate de l'Auxois	7 ,15	Sulfate d'ammoniaque.	31 ,00

On voit notamment que l'emploi d'une fumure minérale phosphatée et potassique exerce sur les prairies artificielles de ces sortes de terrains l'action la plus heureuse, non seulement sur la quantité, mais aussi sur la qualité.

Les engrais azotés, à considérer les chiffres du tableau, ont augmenté aussi le rendement ; cela tient à ce qu'ils ont favorisé le développement des plantes adventices ; de grossières composées ont envahi ces carrés d'expériences où il n'y avait plus que quelques rares brins de luzerne.

Ce qu'il importe de retenir, c'est que les fumures phosphatée et potassique permettent de doubler la production de ce précieux

fourrage et de prolonger la durée des prairies artificielles en retardant l'envahissement des plantes adventices qui sont les principaux ennemis de la luzerne.

Le mode d'application qui nous a été imposé par les circonstances n'est pas à conseiller. En répandant ces engrais au moment de la semaille de la céréale de printemps qui précède, on sera assuré que, dès le commencement, la prairie artificielle prendra régulièrement possession du sol à l'exclusion de toute végétation adventice, et les engrais produiront leur maximum d'effet.

Il nous reste à examiner l'influence des engrais sur les prairies naturelles.

Prairies naturelles.

Beaucoup sont établies dans les parties basses, particulièrement humides des assises énumérées plus haut. Toutes celles appartenant à la série sableuse sont pauvres en légumineuses, les houlgues dans les parties fraîches, la flouve odorante sur les parties élevées dominent dans le fourrage, tandis qu'au contraire, sur les marnes ostréennes, ce sont les légumineuses qui forment un tapis épais et court ; on y rencontre quelques rares graminées, conche, crételle pour la plupart de qualité secondaire. Enfin, sur les bords des petits ruisseaux qui coulent lentement au fond de nos petites vallées, les prairies sont acides, tourbeuses, ne donnent que de maigres pâtures et ne sont fauchées qu'en vue de se procurer de la litière. D'après ce que nous avons vu précédemment, il n'est pas permis de douter de l'heureuse influence des engrais phosphatés sur la plupart de ces prairies.

Dans les prairies sableuses, fraîches ou humides, les scories transforment, en moins de deux ans, la qualité du foin. Les légumineuses, trèfle des prés, lotier, etc., apparaissent spontanément où, de longue date, les carex et les joncs, les renoncules et le populage composaient à eux seuls la misérable végétation de ces lieux bas. Ce changement profond dans la flore est si frappant que, à la suite de nos essais, beaucoup de petits propriétaires n'hésitent pas à répandre des scories sur leurs prairies.

Si nous pouvions rapporter les expériences que nous avons insti-

tuées sur une douzaine de points, nous montrerions, en outre, que non seulement la qualité du foin a été singulièrement modifiée, mais qu'encore la production s'en est vivement ressentie. Ces prairies phosphatées sont garnies à la base d'un fourrage épais que la faux coupe beaucoup plus aisément qu'autrefois, où elle glissait sur les agrostis, ces plantes basses, envahissantes et d'assez médiocre valeur nutritive.

Il ne nous a pas été possible de réunir autant de chiffres que nous l'aurions voulu pour indiquer la plus-value dans le rendement obtenue avec les engrais phosphatés. De plus, il eût été intéressant de suivre chaque année l'action persistante de ces engrais, afin d'en établir la durée ; malheureusement et à regret, nous avons dû nous contenter d'en juger par l'aspect. Je puis dire tout de suite que ces expériences, faites en 1895, produisent aujourd'hui leur plein effet.

Les résultats ci-dessous se rapportent à la récolte 1895 et montrent l'influence exercée sur la première coupe, l'épandage ayant été fait au commencement de mars de la même année.

Influence des engrais minéraux sur la première coupe qui a succédé à l'application printanière de ces engrais en 1895.

Prairie argileuse des marnes ostréennes.

État de la prairie avant l'expérience : sèche et haute ; la flore est surtout composée de trèfle rouge, filiforme, peu de graminées, bon foin peu abondant, très bon comme pâture ; seule, la première coupe est fauchée, suivant l'usage du pays. Fauchaison le 1er juillet 1895. Pesée à l'état sec, le 3 juillet, la récolte nous a donné les résultats suivants :

	FOIN SEC à l'hectare.
Témoin	1 650 kilogr.
Scories de déphosphoration, 1 000 kilogr. 16/	2 800 —
Phosphate précipité, 300 kilogr.	3 200 —
Superphosphate seul, 600 kilogr	3 000 —
— seul, 1 200 kilogr.	4 200 —
— 600 + 300 kilogr., chlorure de potassium.	3 100 —
— 600 + nitrate de soude, 200 kilogr.	4 500 —
Nitrate de soude seul, 200 kilogr	2 300 —
Chlorure de potassium, 300 kilogr.	1 850 —

Ainsi, après quatre mois d'application, les engrais phosphatés sur cette prairie élevée en doublaient le rendement.

Deuxième expérience. — Prairie basse silicéo-argileuse, sous-sol perméable du portlandien.

Prairie fraîche, flore graminée domine, inondée pendant l'hiver. A la première coupe on a obtenu :

		FOIN SEC à l'hectare.
Témoin		4 000 kilogr.
Superphosphate 13/15	600 kilogr.	6 500 —
	800 —	6 500 —
	400 —	6 000 —
Phosphate précité, 150 kilogr.		6 000 —
Superphosphate, 600 + 200 kilogr. nitrate		8 200 —
Nitrate seul, 200 kilogr		5 700 —

Dans les prairies établies sur les sables gréseux, ferrugineux ou argilo-siliceux, les effets sont analogues, l'amélioration de la flore est encore plus marquée, parce qu'ici les essais que nous rapportons ont été faits en sols mieux pourvus de calcaire et d'acide phosphorique.

Quant à la forme phosphorique la plus avantageuse, le premier essai nous indique que les scories, tout en ayant une action presque aussi rapide que les superphosphates, sont préférables à tous les autres phosphates. Pour une même dépense, on obtient un phosphatage plus énergique, à action prolongée et partant plus productif.

Après avoir ainsi promené notre champ d'expériences à travers les cultures de la Puisaye, afin d'interroger les sols de cette région d'après une méthode uniforme, on peut conclure que le *phosphatage* des sols de la Puisaye est la *première amélioration* à introduire dans la méthode de fertilisation des terres. Nous terminons cette étude en montrant l'influence persistante des fumures phosphatées dans la rotation.

Durée d'action des phosphates dans l'assolement.

Si l'action directe des phosphates appliqués aux plantes annuelles est utile à connaître, il n'est pas moins important de savoir si leur

heureuse influence se prolonge sur les cultures qui se succèdent dans la rotation. La mesure de cette influence permet alors de résoudre la question économique du choix de l'engrais phosphaté le plus avantageux ; en outre, elle indique quelle part des frais de fumures on peut imputer à toutes les cultures de l'assolement.

Ces recherches sont donc du plus haut intérêt. Nous sommes heureux d'avoir pu récemment recueillir, sur ce sujet, quelques données intéressantes.

Dans la région, on a adopté, depuis longtemps déjà, l'assolement suivant :

1re année. Jachère nue ; plantes sarclées ; betteraves, rutabagas, pommes de terre.

2e année. Céréales d'automne.

3e année. Céréales de printemps.

4e année. Prairie temporaire : trèfle-ray-grass ; fléole, anthyllide.

L'expérience que nous allons rapporter nous permet d'apprécier l'influence des engrais appliqués au blé sur la prairie temporaire qui succède deux ans après et qui termine la rotation.

Les engrais appliqués le 15 octobre 1894, avant le dernier labour, ont été enterrés à la charrue. Le sol silicéo-argileux *des sables de la Puisaye* est identique à celui de nos essais nos 4 et 5 sur pommes de terre.

Les résultats obtenus sur le blé ont été identiques à ceux de la même année rapportés dans notre première expérience du Thureau. Ils se résument ainsi : les fumures au superphosphate 13/15, 600 kilogr. ou 1 000 kilogr. de scories ont produit le même excédent. La potasse seule ou associée aux engrais précédents n'a produit aucun résultat. Notre expérience nous permet donc, en outre, de voir si dans la suite ces engrais potassiques ont quelque efficacité sur les légumineuses de la prairie temporaire.

La prairie temporaire trèfle-ray-grass, semée l'an dernier dans l'avoine succédant au blé récolté en 1895, nous a offert un exemple saisissant de l'influence persistante des fumures phosphatées.

L'étendue de la pièce nous avait permis de laisser entre chaque planche traitée aux engrais minéraux une planche témoin. Nous

avons donc pu aisément comparer la différence de composition du fourrage avec les lots témoins qui entouraient sur quatre côtés nos lots d'expérience.

Le ray-grass d'Italie, dominant dans les lots témoins, formait presque à lui seul la totalité du foin. Ce fourrage rare et dur encadrait les andains épais des parcelles à scories où le trèfle, la minette s'élevaient haut entre les tiges de ray-grass formant ainsi une garniture épaisse et touffue. On eût dit, et beaucoup l'ont cru, que cet effet saisissant était dû à l'application directe des engrais sur la prairie temporaire. Il n'en était rien : depuis leur application, ces engrais avaient été remués par deux labours, deux hersages et cependant la végétation indiquait avec la plus parfaite régularité la ligne de démarcation de toutes les planches. Il n'y avait pas la plus légère confusion.

Cette prairie temporaire fauchée à la première coupe donnera un pâturage qui durera ensuite un an ou deux.

La fauchaison faite le 13 juin dernier nous a permis de recueillir les chiffres suivants, rendement constaté : 1° *en vert* (c'est-à-dire pesé derrière le faucheur qui travaillait depuis la chute de la rosée jusqu'à 5 heures du soir) ; 2° *en sec*.

L'examen des chiffres de ce tableau nous permet de constater l'action persistante de l'acide phosphorique. Deux années après son application à une récolte antérieure qui en a elle-même tiré grand profit, le rendement brut de la prairie temporaire a été augmenté dans la proportion de 37 p. 100 à 200 p. 100. La récolte a été doublée à la première coupe, le pâturage qui suivra en bénéficiera encore, mais ce que les chiffres ne peuvent indiquer, c'est l'amélioration considérable de la qualité nutritive du fourrage.

L'examen de la végétation de ces prairies temporaires de la Puisaye montre que la flore, au lieu d'être composée exclusivement de trèfle et ray-grass comme dans nos parcelles à scories, est formée, au contraire, de plantes adventices, plantain, reine-marguerite, ombellifères au milieu desquelles les bonnes plantes sont étouffées.

Les rendements en poids ne permettent donc pas de juger complètement de l'importance des engrais phosphatés sur la production des prairies temporaires.

TABLEAU XI. — Effets prolongés des engrais phosphatés appliqués au blé en 1894. Résultats obtenus sur la prairie temporaire de 1897.

DÉSIGNATION DES FUMURES APPLIQUÉES AU BLÉ DE 1894.	PRIX de la fumure minérale de 1894.	RENDEMENT En vert à l'hectare	RENDEMENT En sec à l'hectare	EXCÉDENT total sur les témoins. Fourrage sec.	AUGMENTATION centésimale des produits.
	fr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	P. 100.
Témoin	»	2 700	1 165	»	»
Superphosphate seul, 500 kilogr.	37	4 300	1 600	435	37
Id. 600 kilogr.	45	4 950	1 660	495	42
Id. 800 kilogr.	»	6 300	2 490	1 325	113
Superphosphate, 600 kilogr. + sulfate d'ammoniaque, 200 kilogr. (automne).	105	4 950	1 660	495	42
Superphosphate, 600 kilogr. + nitrate de soude au printemps, 200 kilogr.	95	4 950	1 660	495	42
Superphosphate, 600 kilogr. + sulfate d'ammoniaque au printemps, 200 kil.	105	4 950	1 660	495	42
Superphosphate, 600 kilogr. + sulfate de potasse, 200 kilogr.	97	5 680	1 800	635	54
Superphosphate, 600 kilogr. + chlorure de potassium, 200 kilogr.	93	5 680	1 800	635	54
Scories, 800 kilogr. 16/18 Longwy	40	7 650	3 360	2 195	187
1 000 kilogr.	50	8 150	3 580	2 415	207
1 200 kilogr.	60	8 750	3 740	2 575	221
1 000 kilogr. + sulfate de potasse, 200 kilogr.	102	8 400	3 690	2 525	225
1 000 kilogr. + chlorure de potassium, 200 kilogr.	98	8 270	3 630	2 465	211
1 000 kilogr. + nitrate de soude au printemps 1895, 200 kilogr.	100	8 150	3 580	2 415	207
1 000 kilogr. + sulfate d'ammoniaque, 200 kilogr.	110	8 150	3 580	2 415	207
1 000 kilogr. + sulfate d'ammoniaque, 200 k. + 200 kil. sulfate de potasse.	162	9 750	4 290	3 125	275
Sulfate de potasse, 200 kilogr.	52	2 700	1 050	Les légères variations ne dépassent pas celles qui sont indépendantes des fumures minérales.	
Chlorure de potassium, 200 kilogr.	48	2 900	1 120		
Nitrate de soude seul, 200 kilogr. (printemps 1895).	25	3 000	1 250		
Sulfate d'ammoniaque seul	31	3 100	1 275		

De cette expérience il résulte :

Que si le superphosphate était équivalent aux scories sur la récolte de blé, il est ici, très inférieur ; son influence se traduit par une augmentation de 40 à 45 p. 100, tandis qu'une fumure d'un prix à peu près égal donnée sous la forme de scories a plus que doublé le rendement de la prairie temporaire.

Avec le superphosphate à la dose de 600 kilogr. on a apporté $13 \times 6 = 78$ kilogr. d'acide phosphorique ;

Avec les scories à la dose de 1 000 kilogr. on a apporté $16 \times 10 = 160$ kilogr. d'acide phosphorique.

Pour une somme déterminée, environ 50 fr. par hectare, les scories apportent plus du double d'acide phosphorique, dont l'action se fait sentir naturellement pendant plus longtemps sur les récoltes qui se succèdent dans la rotation.

Constatons en passant que les sels potassiques n'ont aucune action sérieuse sur ces terres ; qu'enfin les engrais azotés solubles, comme tout le monde sait, n'exercent aucune espèce d'action sur les récoltes qui suivent celles où on les applique.

Ainsi donc, de l'ensemble de nos expériences faites chez les cultivateurs dans les conditions identiques à celles de leurs cultures, sauf la fumure, on peut conclure en toute confiance :

1° Que l'emploi des engrais complémentaires pourrait se borner à l'apport d'un seul élément, l'acide phosphorique. A cette fumure de fond, pour les céréales, les betteraves, on pourra avec avantage associer le nitrate de soude, ou le sulfate d'ammoniaque en sols humides ; ils seront employés pendant la végétation, mais toujours enterrés soit à la herse, soit à la houe.

2° Ces expériences confirment nos conclusions formulées en 1894 dans les *Annales agronomiques*, à savoir : exception faite des marnes ostréennes et du calcaire à spatongues, l'inutilité complète de la potasse pour les céréales, les légumineuses. Pour les pommes de terre elle paraît agir, mais au prix actuel, les engrais potassiques ne paraissent pas être d'un emploi général avantageux.

3° En ce qui concerne le sulfate d'ammoniaque, nous avons reconnu, dans nos expériences faites depuis 1894, que son action est sensiblement égale à celle du nitrate de soude dans les sols *argilo-*

siliceux frais des argiles de Myennes, des argiles bariolées et des argiles à plicatules, voire même bien bas des sables de la Puisaye. Au prix actuel, cet engrais apportant au sol, pour une dépense déterminée, une somme d'azote supérieure à celle du nitrate de soude, il sera avantageusement substitué à ce dernier dans ces cas spéciaux.

4° On pourra s'en tenir pour la fumure phosphatée aux superphosphates et aux scories.

Les premiers seront employés dans la culture des plantes à végétation rapide et à système radiculaire peu étendu : betteraves et choux-navets repiqués en juin, vesces de printemps, haricots-chanvre : doses convenables, 400 à 600 kilogr. par hectare.

Les scories à dosage garanti et riches seront employées en tout autre cas aux doses de 800 à 1 000 kilogr. à l'hectare.

Nous ne pouvons terminer cet exposé sans insister sur les conséquences évidentes de l'emploi régulier des engrais phosphatés dans le système de culture de la Puisaye. Elles sont considérables ; on peut les résumer ainsi :

Une dépense de 40 à 50 fr. par hectare se traduit, à la récolte, par une augmentation directe de :

	PAILLE.	GRAIN.
	p. 100	p. 100
Blé	35 à 40	115
Plantes sarclées, racines . .	plus de 200 p. 100	

et indirectement, sur les prairies temporaires, une augmentation d'environ 200 p. 100.

L'apport de l'acide phosphorique aura, en outre, pour effet, de mettre à profit toutes les facultés productives du sol, et au lieu des récoltes si irrégulières d'une année à l'autre que nous constatons, j'estime qu'on peut arriver à régulariser beaucoup les rendements. Cette régularité, abstraction faite de l'influence prépondérante des saisons, est évidemment due aux proportions convenables d'azote, d'acide phosphorique, potasse et chaux disponibles, Or, l'un d'eux, l'acide phosphorique, dans ce pays où le sol est originairement pauvre en cet élément, fait défaut à toutes les plantes ; celles-ci languissent

de cette pénurie, et c'est seulement par hasard que l'on obtient par des fumures ordinaires cet état d'équilibre que révèle si bien la végétation vigoureuse, le développement harmonique de toutes les parties de la plante.

Dans un pays d'élevage comme celui-ci, où les animaux pâturent dans les prairies temporaires et les prairies naturelles de juillet jusqu'en hiver, n'est-il pas permis d'espérer obtenir les plus heureux résultats du phosphatage du sol dans l'amélioration du bétail ?

Nos cultivateurs ne me paraissent pas assez comprendre la relation étroite du sol et du bétail. Le rôle de l'acide phosphorique dans le développement précoce de nos animaux est pourtant si bien reconnu par nos éleveurs, que bon nombre cherchent à l'introduire sous la forme minérale dans la ration des jeunes animaux. D'excellentes raisons physiologiques démontrent que la seule manière de le faire pénétrer sûrement et efficacement dans l'organisme, c'est de l'introduire par les fourrages. Phosphater ses terres et ses prairies, c'est donc phosphater son bétail ; c'est hâter son évolution et sa croissance, c'est l'améliorer beaucoup plus sûrement que par les croisements avec les races précoces, ou par l'introduction de celles-ci dans ce milieu impropre par lui-même à suffire à leurs besoins.

Les cultivateurs ne doivent donc pas considérer seulement l'effet direct des engrais phosphatés sur les cultures ; qu'ils se rappellent que l'emploi de l'acide phosphorique sur le blé assure non seulement les rendements rénumérateurs de cette culture, mais aussi et surtout, loin d'épuiser leurs terres, leur fait produire, dans la suite, le double que par la méthode ordinaire, en foin beaucoup plus nutritif et plus riche en acide phosphorique.

Voilà ce qu'il était bon de montrer aux cultivateurs de notre région.

En faisant en quelque sorte voyager notre champ d'expériences sur leurs propres exploitations, j'espère les avoir convaincus que les engrais phosphatés, en élevant à la fois la production céréale et fourragère et agissant d'une façon persistante pendant toute la durée de la rotation, ne sauraient ruiner leurs terres.

L'usage rationnel de ces engrais permettra d'améliorer et d'éle-

ver la dénsité du bétail, et en dernière analyse augmentera la masse de fumier et partant la richesse du sol en humus.

C'est assez dire ce que vaut ce ridicule préjugé qui règne encore trop dans nos campagnes : « Tout ce qui n'est pas fumier ruine la terre ».

Saint-Sauveur, 24 juin 1897.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

L'ASSIMILATION DE L'AZOTE AMMONIACAL

ET DE L'AZOTE NITRIQUE

PAR LES PLANTES SUPÉRIEURES[1]

Par M. LAURENT

DU LABORATOIRE DE BOTANIQUE DE L'INSTITUT AGRICOLE DE L'ÉTAT, A GEMBLOUX.

Seuls parmi les organismes, les végétaux sont capables de faire la synthèse, non seulement des matières hydrocarbonées, mais encore celle des substances albuminoïdes. Ils utilisent l'azote libre, l'acide nitrique, l'ammoniaque et les combinaisons azotées organiques.

Chez les légumineuses, l'assimilation de l'azote libre est l'œuvre de microbes spéciaux qui vivent dans les nodosités radicales ; bien qu'elle ait lieu à l'obscurité, elle dépend indirectement de la lumière ; en effet, pendant ce travail de synthèse, il y a disparition d'importantes réserves d'amidon provenant de l'assimilation foliaire[2].

Le *Clostridium Pasteurianum*, de Winogradsky, consomme, pendant qu'il fixe l'azote, de grandes quantités de sucre[3].

---

1. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3e série, t. XXXII, n° 12, p. 815-865, 1896.

2. Émile Laurent, Recherches sur les nodosités radicales des Légumineuses. (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. V, 1891.)

3. S. Winogradsky, Recherches sur l'assimilation de l'azote libre de l'atmosphère par les microbes. (*Archives des sciences biologiques*, t. III, n° 4, 1895.)

Quant aux algues, telles que les Nostoccacées, qui, seules ou en symbiose avec des bactéries, assimilent l'azote libre, elles ne se développent qu'à la lumière.

Ces divers micro-organismes empruntent sans aucun doute l'énergie nécessaire à la synthèse des matières albuminoïdes, soit directement, soit indirectement, à la radiation solaire ; à défaut de chlorophylle, ils utilisent une substance hydrocarbonée appropriée.

En est-il de même pour la synthèse des substances albuminoïdes à l'aide des nitrates et des sels ammoniacaux ? Ces combinaisons azotées peuvent-elles pénétrer dans la matière vivante sans l'intervention de l'action solaire ?

Pour les organismes inférieurs privés de chlorophylle, la question est résolue depuis longtemps déjà.

Pasteur a fait croître, à l'obscurité, la levure de bière dans un milieu minéral additionné de sucre et d'un sel ammoniacal [1]. D'autres, après lui, ont cultivé de même des bactéries et des moisissures dans des mélanges salins renfermant un nitrate ou un sel ammoniacal [2].

Assurément, pour les organismes ainsi cultivés comme pour le *Clostridium Pasteurianum*, il faut qu'une certaine quantité de sucre soit brûlée pour fournir l'énergie nécessaire à la synthèse des matières albuminoïdes. Néanmoins, on peut affirmer que chez les plantes inférieures l'assimilation de l'azote ne dépend ni de la chlorophylle ni de la lumière (directe), qu'il s'agisse de l'azote des combinaisons minérales, ou, à plus forte raison encore, de l'azote des combinaisons organiques plus ou moins simples.

L'état de nos connaissances est beaucoup moins parfait si l'on envisage, non plus les végétaux cellulaires, mais les plantes supérieures. On sait déjà que leurs capacités de synthèse pour les substances hydrocarbonées sont beaucoup plus limitées que celles des

---

1. Pasteur, Mémoire sur la fermentation alcoolique. (*Annales de chimie et de physique*, t. LVIII, 1859.)

2. Émile Laurent, Recherches sur la valeur comparée des nitrates et des sels ammoniacaux comme aliment de la Levure et de quelques autres plantes. (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. III, 1889.)

microbes[1]. En serait-il de même pour la production des matières albuminoïdes?

Les expériences de Th. Schlœsing fils et Ém. Laurent ont démontré que les plantes vasculaires, autres que les légumineuses, qui n'ont pas de nodosités microbiennes, n'assimilent *jamais* l'azote libre[2].

A la suite des travaux de A.-B. Franck, on admet, sans que ce soit absolument démontré par l'expérience, que diverses espèces de plantes pourvues de micorhizes peuvent se nourrir aux dépens non seulement des composés hydrocarbonés de l'humus, mais également de ses combinaisons organiques azotées. Ce mode de nutrition doit être fréquent dans les forêts des régions équatoriales abondamment pourvues d'humus.

Les plantes carnivores ont aussi la propriété d'utiliser les produits azotés de la digestion des petits animaux qu'elles capturent. Enfin, expérimentalement, on a pu alimenter des plantes privées de mycorhizes (maïs) avec des solutions d'asparagine privées de microbes.

Pour ce qui est des nitrates, on a des raisons de supposer que les plantes supérieures ne peuvent les utiliser en l'absence de lumière, mais c'est là une opinion qui a été mise en doute. Quoi qu'il en soit, on ne sait pas non plus si la consommation des nitrates est liée ou non à la présence de la chlorophylle.

Si nous considérons l'assimilation des sels ammoniacaux, les quelques faits relatifs à leur disparition dans les feuilles manquent de netteté : ici encore, on ne peut affirmer, d'une façon formelle, si leur utilisation exige l'intervention de la lumière et de la chlorophylle.

Nous nous sommes proposé d'élucider la question de la production de matière organique azotée aux dépens de l'ammoniaque et de l'acide nitrique.

---

1. Comparer, à ce point de vue, les résultats des essais d'Émile Laurent, Sur la nutrition de la Levure et de la Pomme de terre avec des solutions organiques. (*Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique,* t. XXVI, et *Annales de l'Institut Pasteur,* t. III, 1889.)

2. *Annales de l'Institut Pasteur,* t. VI, pp. 65 et 824, 1892.

Les travaux antérieurs sur la question.

Ce fut Pagnoul qui observa, le premier, que dans les tissus des plantes exposées au soleil, les nitrates disparaissent et sont transformés en combinaisons organiques azotées. Il fut amené à faire cette importante découverte à la suite des inconvénients que présente pour la pureté des jus l'emploi tardif des nitrates dans la culture de la betterave à sucre[1].

Il voulut rechercher si l'accumulation de ces sels dans les racines était due uniquement à cette cause, à une surabondance d'éléments azotés, et ne pouvait être attribuée aux conditions de la végétation et notamment à l'intensité de la lumière.

En analysant à des moments déterminés des betteraves en croissance, cultivées en sol enrichi de nitrates, dans des conditions variables d'éclairement, il put constater que, sous l'influence de la lumière, les nitrates amenés dans les feuilles y disparaissent presque aussitôt ; au contraire, ils s'accumulent à l'obscurité et ne subissent pas de modification.

Pagnoul fut ainsi amené à cette conclusion fort importante : « La lumière paraît avoir à remplir, dans la décomposition des nitrates et dans la formation des principes azotés et des corps organiques, un rôle analogue à celui qu'elle joue dans la décomposition de l'acide carbonique pour la formation des corps hydrocarbonés. »

Cette conception nouvelle de la formation des principes azotés des plantes n'a point subi jusqu'ici d'autre contrôle expérimental.

Cependant, plusieurs faits tendent indirectement à prouver que c'est surtout dans les feuilles, sous l'influence des radiations, que s'effectue la formation des matières organiques azotées aux dépens des nitrates. L'absence de ces composés dans les limbes foliaires, alors qu'ils existent plus ou moins abondamment dans les racines,

---

1. Expériences diverses faites à la Station agricole du Pas-de-Calais sur la culture de la Betterave. (*Annales agronomiques*, t. V, p. 481, 1879.) — Champs d'expériences de la Station agricole du Pas-de-Calais. Essais divers. (*Annales agronomiques*, t. VII, p. 5, 1881.) — Influence de la lumière dans les phénomènes de végétation. (*Bulletin de la Station agronomique du Pas-de-Calais*, p. 27, 1890.)

les tiges, les rameaux et les pétioles, a été signalée par B. Frank[1], puis surtout par Schimper[2]. Toutefois, Frank pensait que chez les arbres et certaines espèces pauvres en nitrates, l'assimilation de ces sels peut avoir lieu dans tous les organes traversés par des faisceaux libéroligneux, même déjà dans les racines.

L'accumulation d'asparagine dans les feuilles pendant le jour, démontrée par Frank et Otto[3], peut aussi trouver son explication dans la réduction des nitrates à la lumière.

Quant à l'assimilation de l'ammoniaque, on sait que ce corps peut servir à la production de matières organiques azotées, aussi bien chez les plantes supérieures que chez les micro-organismes.

Cette transformation s'opère directement, sans oxydation de l'ammoniaque. Les recherches de Molisch[4], de Frank[5], de Schulze[6], de Kreusler[7] et les expériences toutes récentes de Pagnoul[8] ne laissent subsister aucun doute à ce sujet. Elles prouvent que, contrairement à l'opinion de Berthelot et André[9], les plantes supérieures ne nitrifient jamais l'ammoniaque.

L'influence de la radiation sur l'assimilation de l'ammoniaque n'a pas encore été précisée. A la fin de son important travail sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale,

---

1. Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze. (*Ber. d. deutschen bot. Ges.*, t. V, p. 472, 1887.)

2. *Botan. Zeitung*, 1888, n° 5 ; *Flora*, 1890.

3. Franck et Otto, Untersuchungen über Stickstoffassimilation in der Pflanze. (*Ber. d. deutschen bot. Ges.*, t. IX, 1890.)

4. Molisch, Ueber einige Beziehungen zwischen anorganischen Stickstoffsalzen in der Pflanze. (*Sitzungsber. d. math.-natur. Cl. d. Kais. Akademie Wien*, Bd. XCV, Heft I, p. 221.)

5. Schulze, Bilden sich Nitrate im Organismus höherer Pflanzen? (*Ber. d. deutschen chem. Ges.*, p. 1500, 1887.)

6. *Ber. der deutschen bot. Ges.*, t. V, 1887.

7. Kreusler, Bildet dich im Organismus höherer Pflanze Salpetersäure ? (*Ber. d. deutschen chem. Ges.*, p. 999, 1887.)

8. Pagnoul, Assimilabilité de l'azote par les plantes sous les deux formes nitrique et ammoniacale. (*Annales agronomiques*, t. XXII, 1896.)

9. Berthelot et André, Sur la formation du salpêtre chez les végétaux. (*Annales de chimie et de physique*, 6e série, p. 116, 1886.)

Muntz[1] fait remarquer que la lumière favorise l'utilisation des composés ammoniacaux par les plantes ; mais il ne cite pas d'expérience bien concluante à l'appui de cette opinion.

En revanche, les recherches de Kinoshita[2], faites sur des plantes d'orge et de maïs développées à l'obscurité, tendent à prouver que l'assimilation de l'azote ammoniacal ne dépend pas de l'action du soleil ; et il émet la même opinion pour ce qui concerne les nitrates.

Méthodes d'analyse adoptées.

L'azote nitrique a été dosé par le procédé Schlœsing. Un poids de matière séchée à 100° est soumis à l'extraction alcoolique pendant douze heures en présence d'un peu de chaux.

L'extrait évaporé à sec, repris par l'eau, est mis à bouillir dans un ballon, afin d'en chasser l'air ; puis, sans laisser pénétrer celui-ci, on introduit 30 centimètres cubes de chlorure ferreux, 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, qu'on a purgés d'air par une courte ébullition. Le bioxyde d'azote qui se dégage est reçu dans une cloche à mercure dans laquelle on a placé 20 centimètres cubes d'un lait de chaux destiné à absorber l'acide chlorhydrique qui a passé avec le gaz.

Le bioxyde d'azote est transvasé dans un ballon purgé d'air par l'ébullition de quelques centimètres cubes d'eau. Le gaz est absorbé par le vide qui se produit pendant le refroidissement du ballon. Ce dernier est mis en communication avec le gazomètre à oxygène ; après six heures, tout le bioxyde est transformé en acide nitrique. Il ne reste plus qu'à doser l'acide formé par une solution d'ammoniaque titrée.

Le dosage de l'azote organique et ammoniacal a été fait par le procédé Kjeldalh :

Un gramme environ de la matière séchée à 100°-105° et finement

---

1. Muntz, Recherches sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale. (*Annales de la science agronomique française et étrangère*. série 2, t. I, 1896.)

2. Kinoshita, *Bull. College of agriculture*. Tokio, 1895.

pulvérisée est introduit dans un ballon avec 20 centimètres cubes d'acide sulfurique à 66° B. et $0^{gr},8$ de bioxyde de mercure. Le ballon est chauffé jusqu'à ce que le mélange devenu d'abord goudronneux soit complètement décoloré.

Après refroidissement, on ajoute au liquide transvasé dans un grand ballon, 100 centimètres cubes de soude caustique à 30 p. 100, 20 centimètres cubes de sulfure de sodium à 8 p. 100 et 1 gramme de poudre de zinc. Les vapeurs ammoniacales sont reçues dans 100 centimètres cubes d'acide sulfurique titré. L'excès de cet acide est neutralisé par l'ammoniaque titrée en prenant le tournesol pour indicateur.

Le procédé Kjeldahl ainsi appliqué permet de doser l'azote organique (albuminoïdes, amides, asparagine) et ammoniacal. Les nitrates échappent intégralement à l'analyse, grâce à la présence du bioxyde de mercure.

L'azote ammoniacal est obtenu par distillation de la matière sèche pulvérisée, en suspension dans l'eau, en présence de magnésie calcinée. On sait que celle-ci ne décompose que les sels ammoniacaux et laisse intacte la presque totalité des composés organiques azotés des végétaux, si ce n'est toutefois quelques principes amidés instables.

Pour les matières bien homogènes, la limite d'erreur du chef des lectures et des mesurages de solutions titrées peut être évaluée à $0^{mgr},5$ d'azote. D'habitude nous opérions sur le quart ou le sixième de la matière et l'erreur maxima était de 2 ou 3 milligrammes. Le plus souvent, pour le dosage de l'azote organique et ammoniacal, on a fait deux dosages au moins et on a pris la moyenne des résultats. Rarement, ils différaient de plus de 2 milligrammes pour des quantités totales de 200 à 300 milligrammes.

Faute d'avoir tenu compte de l'erreur inévitable dans ce genre d'analyses, on a pu être conduit à des interprétations vicieuses des résultats donnés par des recherches sur l'azote des végétaux.

Expérience I. — Feuilles vertes de betteraves exposées à la lumière sous des écrans absorbants.

Les recherches de Pagnoul ont mis en évidence l'action de la lumière sur l'assimilation des nitrates dans les feuilles vertes. Bien que cet expérimentateur ait opéré avec des plantes cultivées sous une cloche en verre violet, on n'avait aucun renseignement sur l'influence propre aux diverses régions du spectre sur la réduction des nitrates. Car dans les essais de Pagnoul, les plantes sont restées constamment sous la cloche violette, ce qui a dû forcément troubler toute leur nutrition. On ne peut donc tirer aucune conclusion de ce fait que, dans ces conditions, les plantes renfermaient des quantités considérables de nitrates. Comme on va le voir par les résultats de l'expérience I et aussi par ceux de l'expérience IX, ce sont les rayons violets et surtout ultra-violets qui interviennent dans l'assimilation des nitrates.

Le 16 juillet 1895, à 8 heures du matin, des feuilles de betterave à sucre sont cueillies dans un champ. On en fait quatre lots, dont l'un, A, doit servir à doser les nitrates ; il est aussitôt desséché et soumis à l'analyse.

Le lot B est placé sous une cloche à double paroi contenant une couche de 30 millimètres d'eau ; les pétioles des feuilles plongent dans l'eau distillée.

Le lot C est placé sous un écran formé par une solution de bichromate de potassium à saturation, de la même épaisseur que la couche d'eau recouvrant B.

Enfin, la cloche qui se trouve au-dessus du lot D contient une solution de sulfate de cuivre ammoniacal à 2 p. 100.

Les pétioles de feuilles composant les lots C et D plongent aussi dans l'eau distillée.

L'expérience a duré du 16 juillet, à 9 heures du matin, au soir du 22 du même mois, c'est-à-dire pendant sept jours. Durant ce laps de temps, le ciel a été presque toujours couvert et pluvieux, sauf le 17 et le 18 avant midi.

L'acide nitrique a été dosé dans chaque lot par la méthode de Schlœsing.

Lot A (*échantillon*). — Poids sec : $3^{gr},405$.

Azote nitrique : $19^{mgr},2 = 5.6$ p. 100 du poids sec.

Lot B (*sous l'eau*). — Poids sec : $4^{gr},036$.

Azote nitrique : $5^{mgr},65 = 1.4$ p. 100 du poids sec.

Lot C (*sous le bichromate de potassium*). — Poids sec : $5^{gr},057$.

Azote nitrique : $12^{mgr},2 = 4$ p. 100 du poids sec.

Lot D (*sous le sulfate de cuivre*). — Poids sec : $3^{gr},678$.

Azote nitrique : $5^{mgr},1 = 1.4$ p. 100 du poids sec.

Au moment où elles ont été cueillies, les feuilles renfermaient une quantité d'azote nitrique égale à 5.6 p. 100 de leur matière sèche ; sous l'écran formé par la solution de bichromate de potassium, une petite partie seulement de cet azote a disparu, tandis que sous l'eau et le sulfate de cuivre la plus grande partie a été transformée.

La réduction des nitrates dans les feuilles vertes est un phénomène que domine l'action des rayons les plus réfrangibles du spectre.

Expérience II. — Tiges étiolées de pommes de terre conservées à l'obscurité.

Des pommes de terre ont germé dans une cave obscure. Le 12 juillet 1895, on a cueilli 1 250 grammes de tiges étiolées, dont on a fait quatre lots désignés par les lettres A, B, C et D. Ils sont de composition bien uniforme : on évite de rassembler un grand nombre de tiges minces dans un même lot ; pour éviter des inégalités dans la composition, on n'emploie que les portions supérieures des tiges et on rejette les parties vieilles, ligneuses.

Le lot A pèse 100 grammes ; il servira au dosage de la matière sèche, de l'azote organique et ammoniacal.

Le lot B, de 250 grammes, est placé à l'obscurité et plonge dans l'eau jusqu'à 3 centimètres de profondeur.

On prépare la solution suivante, qui n'est autre que le mélange salin de Sachs, dans lequel le nitrate de potassium est remplacé par le sulfate du même métal et auquel on ajoute du sucre.

Eau (privée de nitrate et d'ammoniaque). . . .	1 000^{cc},0
Sulfate de potassium.	0^{gr},5
— de magnésium	0 ,5
— de calcium.	0 ,5
Saccharose très pure.	40 ,0

Comme l'eau, la saccharose est très pure ; elle ne contient que des traces d'azote ammoniacal et nitrique.

A une moitié de la solution, on ajoute 2 p. 100 de nitrate de potassium ; à l'autre moitié, 2 p. 100 de sulfate d'ammoniaque.

Nous avons employé ces solutions dans les expériences II à IX ; nous les désignerons simplement sous les noms de solutions nitrique et ammoniacale. Il est bien entendu qu'elles renferment toujours des sels minéraux et du sucre.

Le lot C pèse 400 grammes ; les tiges qui le composent plongent par la base jusqu'à 3 centimètres de hauteur dans la solution ammoniacale.

Le lot D pèse 500 grammes ; il plonge de même dans la solution nitrique.

Les lots C et D sont placés dans l'armoire obscure à côté du lot B ; la température y varie de 15 à 22°. Tous les jours les solutions et l'eau sont renouvelées pour éviter le développement des moisissures et l'élaboration de matières albuminoïdes par ces organismes.

Le 20 juillet au soir, au bout de huit jours et demi, on a mis fin à l'expérience.

Étude du lot A (échantillon).

Matière sèche : 5^{gr},76 pour 100 gr. de poids frais.

Azote organique et ammoniacal.	264^{mgr},5
Azote ammoniacal	13 ,1
Azote nitrique.	10 ,3
Azote organique (264^{mgr},5 — 13^{mgr},1)	251 ,4

Étude du lot B (tiges dans l'eau). — Matière sèche : $5^{gr},73$ p. 100.

Dans 100 grammes de tiges, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$261^{mgr},9$
Azote ammoniacal	10 ,1
Azote organique ($261^{mgr},9 - 10^{mgr},1$)	251 ,8
Azote nitrique : le dosage n'a pas réussi.	

Étude du lot C (tiges dans la solution ammoniacale). — Matière sèche : 6,07 p. 100.

L'augmentation de la matière sèche provient de l'absorption du sucre ; il peut même, comme on sait, en résulter une production d'amidon.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$289^{mgr},8$
Azote ammoniacal	36 ,2
Azote organique ($289^{mgr},8 - 36^{mgr},2$)	253 ,6
Azote nitrique	8 ,5

Étude du lot D (tiges dans la solution nitrique). — Matière sèche : 5,73 p. 100.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$275^{mgr},6$
Azote ammoniacal	24 ,4
Azote organique ($275^{mgr},6 - 24^{mgr},4$)	251 ,2
Azote nitrique	37 ,0

Il n'y a pas eu transformation de l'acide nitrique en matières organiques azotées ; mais une certaine quantité de nitrate a été transformée en composés ammoniacaux. On savait déjà que les nitrates peuvent être réduits en nitrites dans les tissus vivants des plantes, notamment par la pomme de terre[1].

Résultats de l'expérience II.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.	AZOTE nitrique.
—	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.
Tiges coupées venant de la cave	264,5	13,1	251,4	10,3
— dans l'eau	261,9	10,1	251,8	»
— dans la solution ammoniacale	289,8	36,2	253,6	8,5
— — nitrique	275,6	24,4	251,2	37,0

1. Émile Laurent, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3e série, t. XX, p. 478, 1890.

Les différences entre les quantités d'azote organique des quatre lots sont insignifiantes, inférieures à la limite d'erreur que les analyses comportent.

A l'obscurité, les tiges étiolées de pomme de terre n'assimilent ni l'azote ammoniacal ni l'azote nitrique.

Expérience III. — Tiges verdies de pomme de terre exposées au soleil.

Le 27 juillet 1895, 600 grammes de tiges de pommes de terre, cueillies avec les mêmes soins que dans l'expérience II, ont été placées à la lumière afin de les laisser verdir. Tous les deux jours, on a renouvelé l'eau dans laquelle elles plongeaient.

Le 3 août, les tiges ont été retirées; elles étaient devenues vertes et portaient de jeunes feuilles de même couleur. On a coupé la partie inférieure des tiges, le plus souvent pourrissante, puis on a fait quatre lots:

Lot A: 150 grammes destinés au dosage de l'azote organique, ammoniacal et nitrique.

Lot B: 100 grammes; les bases des tiges plongent dans l'eau.

Lot C: 150 grammes, placés dans la solution ammoniacale.

Lot D: 150 grammes, que l'on fait plonger dans une solution nitrique.

Les lots B, C et D sont placés à la lumière sur le rebord d'une fenêtre exposée au nord-ouest. Les solutions sont renouvelées tous les jours.

L'expérience a duré jusqu'au 8 août matin. Dans l'intervalle, le ciel avait été assez clair les 3 et 5 août; couvert et pluvieux, les trois autres jours.

Étude de A (échantillon). — Matière sèche : 5,7 p. 100.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$292^{mgr},4$
Azote ammoniacal	30 ,2
Azote organique ($292^{mgr},4 - 30^{mgr},2$)	262 ,2
Azote nitrique.	1 ,6

Au moment où elles ont été coupées à la cave, ces tiges renfermaient $251^{mgr},4$ d'azote organique, $13^{mgr},1$ d'azote ammoniacal, $10^{mgr},3$ d'azote nitrique. Pendant le verdissement, elles ont perdu la plus grande partie de leur nitrate ; par contre, elles sont plus riches en ammoniaque formée aux dépens de l'acide nitrique et enlevé à l'air et à l'eau. Il y a eu assimilation de $262^{mgr},2 - 251^{mgr},4 = 10^{mgr},8$ d'azote organique.

Étude de B (tiges dans l'eau). — Matière sèche : $6^{gr},5$ p. 100.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$292^{mgr},4$
Azote ammoniacal	8 ,8
Azote organique ($292^{mgr},4 - 8^{mgr},8$)	283 ,6
Azote nitrique.	1 ,8

L'ammoniaque contenue dans les tiges pendant le verdissement a en grande partie disparu sous l'influence de la lumière solaire. Un peu de nitrate a persisté dans les tiges.

Étude de C (tiges dans la solution ammoniacale). — Matière sèche : $7^{gr},5$ p. 100.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$422^{mgr},8$
Azote ammoniacal	68 ,5
Azote organique ($422^{mgr},8 - 68^{mgr},5$)	354 ,3
Azote nitrique.	»

Il y a eu une assimilation énergique de l'azote ammoniacal.

Étude de D (tiges dans la solution nitrique). — Matière sèche : $7^{gr},02$ p. 100.

Dans 100 grammes de tiges fraîches, il y a :

Azote organique et ammoniacal	$382^{mgr},7$
Azote ammoniacal	33 ,5
Azote organique ($382^{mgr},7 - 33^{mgr},5$)	349 ,2
Azote nitrique.	7 ,6

Les lots C et D renferment beaucoup plus de matière sèche que le lot B et surtout que le lot A ; ils ont assimilé l'acide carbonique de l'air absorbé et en outre le sucre des solutions.

Les tiges verdies exposées à la lumière assimilent l'azote nitrique; il paraît y avoir d'abord réduction de l'acide nitrique en ammoniaque, comme tend à le prouver la quantité d'azote ammoniacal constatée lors de l'analyse.

L'azote nitrique ($7^{mgr},6$) provient du nitrate qui se trouvait diffusé au moment où l'on a mis fin à l'expérience et qui n'avait pas encore été décomposé par l'action combinée du protoplasme et de la lumière.

Résultats de l'expérience III.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.	AZOTE nitrique.
—	—	—	—	—
	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Tiges venant de la cave	264,5	13,1	251,4	10,3
— verdies.	292,4	30,2	262,2	1,6
— verdies dans l'eau	292,4	8,8	283,6	1,8
— verdies dans la solution ammoniacale	422,8	68,5	354,3	»
Tiges vertes dans la solution nitrique.	382,7	33,5	349,2	7,6

Les tiges verdies de pomme de terre assimilent l'azote ammoniacal et l'azote nitrique à la lumière solaire.

Expérience IV. — Tiges étiolées de l'asperge à la lumière.

Après les expériences II et III, nous aurions voulu opérer avec des tiges de pomme de terre non verdies exposées à la lumière. Un essai fait dans ce but ne nous a pas réussi parce que le verdissement des tiges étiolées de cette espèce est très rapide. Alors nous avons eu recours à des tiges d'asperges (*asparagus officinalis*) qui s'étaient développées à la cave et qui étaient complètement privées de chlorophylle.

Ces tiges ont été découpées en morceaux; on a réuni tous ceux de la base, tous ceux de la partie moyenne et tous ceux du sommet en trois lots pesant chacun 200 grammes. Chaque lot a été divisé en quatre portions de 50 grammes, puis on a fait quatre lots de 150 grammes en réunissant 50 grammes de chacun des trois pre-

miers lots. On a ainsi obtenu de nouveaux lots comprenant une quantité égale des morceaux de tiges pris aux différents niveaux. Il y a tout lieu de croire que les quatre lots sont identiques comme composition chimique. Nous les appellerons A, B, C et D.

Le lot A sert au dosage de l'azote total et ammoniacal.

Les bases des tiges du lot B plongent dans un vase contenant de l'eau.

Le lot C est placé dans un vase renfermant une couche de 3 centimètres de solution ammoniacale.

Le lot D plonge de même dans la solution nitrique.

La mise en expérience a lieu le 21 août 1896 au soir, afin de faciliter la diffusion des sels pendant la nuit et de réduire ainsi la durée de l'insolation, de crainte d'un verdissement rapide. Le lendemain, à 8 heures du matin, les lots B, C et D sont mis en plein soleil.

Le ciel a été presque toujours pluvieux pendant les trois jours de l'expérience. Néanmoins, les extrémités des tiges ont verdi légèrement, puis sont devenues rougeâtres ; il est des tiges qui sont rouges sur toute leur longueur. Le 24 au soir, lorsqu'on retire les tiges, leurs pointes, la veille encore brun verdâtre, ont une teinte nettement verte. La quantité de chlorophylle formée est peu considérable.

Étude de A (échantillon). — Matière sèche : $11^{gr},04$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$542^{mgr},1$
Azote ammoniacal	9 ,8
Azote organique ($542^{mgr},1 - 9^{mgr},8$)	532 ,3

Étude de B (tiges dans l'eau). — Matière sèche : $11^{gr},0$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$537^{mgr},5$
Azote ammoniacal	8 ,8
Azote organique ($537^{mgr},5 - 8^{mgr},8$)	528 ,7

L'azote ammoniacal n'a pas sensiblement diminué dans les tiges exposées durant trois jours au soleil. Serait-ce dû à la grande quantité d'asparagine qui s'accumule dans les tiges d'asperge étiolées et qui aurait ralenti l'assimilation de l'azote ? C'est précisément pour éviter cet inconvénient que nous avons toujours ajouté du sucre à nos solutions nutritives.

Étude de C (tiges dans la solution ammoniacale). — Matière sèche : $11^{gr},1$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$585^{mgr},45$
Azote ammoniacal.	14 ,20
Azote organique ($585^{mgr},45 - 14^{mgr},2$).	571 ,25

Étude de D (tiges dans la solution nitrique). — Matière sèche : $11^{gr},13$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$551^{mgr},4$
Azote ammoniacal	7 ,2
Azote organique ($551^{mgr},4 - 7^{mgr},2$)	544 ,2

L'azote nitrique contenu dans les tiges au début de l'expérience et à la fin n'a pas été dosé dans l'expérience IV ni dans les suivantes. Les faits relatifs à la disparition des nitrates se dégagent assez clairement des analyses des lots plongés dans la solution nitrique.

Résultats de l'expérience IV.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.
	milligr.	milligr.	milligr.
Tiges venant de la cave.	542,10	9,8	532,30
Tiges exposées au soleil dans l'eau. . .	537,50	8,8	528,70
Tiges exposées au soleil dans la solution ammoniacale.	585,45	14,2	571,25
Tiges exposées au soleil dans la solution nitrique	551,40	7,2	544,20

Les tiges d'asperge à peu près privées de chlorophylle assimilent à la lumière solaire l'azote nitrique et mieux encore l'azote ammoniacal.

Afin de résoudre d'une manière encore plus nette la question relative au rôle de la chlorophylle dans l'assimilation de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal, nous avons renoncé à expérimenter sur des tiges étiolées et les avons remplacées par des feuilles complètement blanches des variétés à feuilles panachées. On sait que plusieurs espèces présentent parfois des feuilles, même des rameaux complètement privés de chlorophylle. En opérant de la sorte, nous avons obtenu les résultats les plus concluants.

Expérience V. — Feuilles blanches et feuilles vertes de l'orme à grandes feuilles panachées (*Ulmus campestris fol var.*) exposées à la lumière.

Parmi les feuilles mises en expérience, les unes étaient toutes blanches ou ne présentaient que des taches vertes peu étendues. Les autres, au contraire, étaient toutes vertes, bien que provenant de branches du même arbre que les feuilles blanches.

De chaque catégorie de feuilles, on a pesé 30 grammes, dont on a fait trois lots de 10 grammes. Désignons-les par A_b, B_b, C_b et A_v, B_v et C_v ; les indices *b* et *v* signifient feuilles blanches et feuilles vertes.

Les lots A_b et A_v sont destinés au dosage de l'azote organique et ammoniacal.

Les feuilles des lots B_b et B_v sont couchées la face supérieure tournée vers le haut dans des cuvettes en porcelaine, plates, et immergées dans la solution ammoniacale sucrée. Quant aux lots C_b et C_v, ils ont été immergés dans les mêmes conditions, sauf que la solution ammoniacale a été remplacée par la solution nitrique.

Les quatre derniers lots ont été exposés à la lumière le 28 août 1896, à 4 heures du soir, par un soleil modéré. Le 29 et le 30, le ciel était bien clair et la radiation vive.

L'expérience a été interrompue dans la soirée du 30 août ; les feuilles ont été bien lavées dans l'eau et brossées soigneusement pour enlever les poussières de l'air appliquées à leur face supérieure.

Voici les résultats de l'analyse :

Lot A_b. — Matière sèche : $2^{gr},05 = 20,5$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$66^{mgr},4$
Azote ammoniacal.	0 ,9
Azote organique ($66^{mgr},4 - 0^{mgr},9$)	65 ,5

Lot A_v. — Matière sèche : $4^{gr},2 = 42$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$128^{mgr},35$
Azote ammoniacal.	2 ,10
Azote organique ($128^{mgr},35 - 2^{mgr},1$)	126 ,25

Il convient de remarquer la richesse beaucoup plus grande — plus du double — en matière sèche des feuilles vertes. C'est le résultat de l'assimilation chlorophyllienne. Quant à l'azote organique, il y en a 3,2 p. 100 dans les feuilles blanches et 3 p. 100 dans les feuilles vertes ; la différence est due aux matières hydrocarbonées formées par les feuilles vertes et qui s'y trouvaient au moment de l'expérience. Si l'on fait abstraction de ces matières, la proportion de l'azote organique est plus grande dans les feuilles vertes que dans celles qui sont privées de chlorophylle.

Étude de B_b (feuilles blanches dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $2^{gr},07 = 20,7$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$87^{mgr},4$
Azote ammoniacal.	4 ,3
Azote organique ($87^{mgr},4 - 4^{mgr},3$)	83 ,1

Les feuilles blanches immergées dans la solution ammoniacale ont assimilé l'azote donné sous cette forme.

Étude de B_v (feuilles vertes dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $4^{gr},18 = 41,8$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$142^{mgr},2$
Azote ammoniacal	5 ,2
Azote organique ($142^{mgr},2 - 5^{mgr},2$)	137 ,0

Les feuilles vertes ont aussi assimilé l'azote ammoniacal, mais beaucoup moins en proportion de leur poids sec que les feuilles blanches.

Étude de C_b (feuilles blanches dans la solution nitrique).

Matière sèche : $2^{gr},07 = 20,7$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$69^{mgr},1$
Azote ammoniacal.	1 ,5
Azote organique ($69^{mgr},1 - 1^{mgr},5$)	67 ,6

Les feuilles blanches ont peu ou même pas assimilé l'azote de la solution nitrique dans laquelle elles flottaient.

Étude de C_6 (feuilles vertes dans la solution nitrique).

Matière sèche : $4^{gr},25 = 42,5$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$159^{mgr},2$
Azote ammoniacal	4 ,0
Azote organique ($159^{mgr},2 - 4^{mgr},0$)	155 ,2

Les feuilles vertes ont assimilé activement l'azote du nitrate de potassium.

Résultats de l'expérience V.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.
—	—	—	—
	milligr.	milligr.	milligr.
Feuilles blanches, échantillon . .	66,40	0,9	65,50
— dans la solution ammoniacale	87,40	4,3	83,10
Feuilles blanches dans la solution nitrique.	69,10	1,5	67,60
Feuilles vertes, échantillon . . .	128,35	2,1	126,25
— dans la solution ammoniacale	142,20	5,2	137,00
Feuilles vertes dans la solution nitrique.	159,20	4,0	155,20

Si l'on compare les quantités d'azote assimilées par les feuilles blanches flottant dans la solution ammoniacale et par les feuilles vertes plongeant dans les deux solutions nutritives, on s'assure que la synthèse des matières albuminoïdes est aussi active dans les deux cas lorsque le sel est favorable. En d'autres termes, la chlorophylle n'est pas nécessaire à l'assimilation de l'azote, tout au moins de l'azote ammoniacal. Mais elle stimule singulièrement l'assimilation de l'azote nitrique, sans doute à cause des rayons qu'elle absorbe et que le protoplasme utilise pour la réduction des nitrates.

Nous avons cependant fait remarquer précédemment qu'en réalité les feuilles blanches contiennent moins d'azote organique que les feuilles vertes débarrassées des produits de l'assimilation du carbone. Voici, d'après nous, comment on peut interpréter ce fait : la synthèse des matières albuminoïdes exige la présence de substances

hydrocarbonées, ainsi que le prouve l'accumulation bien connue d'asparagine dans les graines et les pousses végétant à l'obscurité.

Dans nos essais, les feuilles blanches trouvaient dans la solution nutritive du sucre qui pouvait diffuser dans les cellules, au moins par la section des pétioles. Mais à l'état naturel, il est vraisemblable que les feuilles blanches ne reçoivent pas beaucoup de matières sucrées des feuilles vertes, surtout si les unes et les autres se trouvent sur des rameaux différents.

On peut aussi supposer que la sève de l'orme renferme peu de sels ammoniacaux, que les feuilles blanches utilisent de préférence.

Voici les conclusions qui résultent des chiffres consignés dans le tableau précédent :

1° *Les feuilles blanches d'orme assimilent difficilement, peut-être pas du tout, l'azote nitrique ; elles semblent réduire difficilement les nitrates ;*

2° *Les feuilles blanches assimilent activement l'azote ammoniacal ;*

3° *Au soleil, les feuilles vertes assimilent activement l'azote nitrique beaucoup mieux que l'azote ammoniacal.*

Expérience VI. — Feuilles blanches et feuilles vertes d'érable à feuilles de frêne (*Acer Negundo*) exposées à la lumière.

Cette expérience est analogue à la précédente que nous aurions voulu répéter en opérant sur des quantités de feuilles plus considérables. Mais nous ne sommes pas parvenus à nous en procurer suffisamment.

Nous avons employé les feuilles blanches et les feuilles vertes de l'érable à feuilles de frêne. La variété panachée de cette espèce présente fréquemment des rameaux portant des feuilles toutes blanches. Parfois certains pieds portent des branches à feuilles complètement vertes ; nous n'en avions pas à notre disposition et avons fait usage de feuilles blanches et de feuilles vertes cueillies sur des arbres différents de la même espèce plantés dans l'arboretum de l'Institut agricole.

Le 1er septembre 1896, on a pesé 105 grammes de feuilles d'érable toutes blanches, qui ont été réparties en trois portions aussi égales que possible quant à l'origine des feuilles provenant d'arbres différents. Désignons-les par A_b, B_b, C_b.

Le même jour, on prépare, avec les mêmes soins, des lots pesant 35 grammes, mais composés de feuilles vertes ; appelons-les A_v, B_v et C_v.

Les rachis des feuilles de chaque lot sont liés avec un petit cordon ; on les place ensuite dans un verre, de façon à faire reposer les limbes au-dessus du bord du récipient ; au fond de celui-ci, on verse de l'eau ou l'une des solutions nutritives, de façon que les rachis y plongent jusqu'à environ 3 centimètres de leur section.

Les six lots ont été exposés le 1er septembre, à 3 heures, à un soleil assez brillant. Les lots A_b et A_v plongent dans l'eau ; B_b et B_v dans la solution ammoniacale ; C_b et C_v dans la solution nitrique.

Le lendemain, le temps était très beau jusqu'à midi, puis le ciel est resté couvert jusqu'au soir ; à ce moment, on a renouvelé l'eau et les solutions nutritives.

Le 3 septembre, le ciel fut couvert et pluvieux. Les vases sont retirés à 6 heures du soir et, aussitôt, mis à l'étuve à dessiccation.

Étude de A_b (feuilles blanches dans l'eau).

Matière sèche : $5^{gr},25 = 15,0$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$215^{mgr},4$
Azote ammoniacal	5 ,9
Azote organique ($215^{mgr},4 - 5^{mgr},9$)	209 ,5

Étude de A_v (feuilles vertes dans l'eau).

Matière sèche : $12^{gr},75 = 36,43$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$311^{mgr},3$
Azote ammoniacal	9 ,9
Azote organique ($311^{mgr},3 - 9^{mgr},9$)	301 ,4

Les feuilles vertes sont plus riches en matière sèche que les feuilles blanches ; les premières renferment 3,99 p. 100 d'azote organique et les secondes 2,36 p. 100. Nous avons, à propos des feuilles d'orme, expliqué ces différences.

Étude de B_b (feuilles blanches dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $6^{gr},60 = 18,86$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$318^{mgr},7$
Azote ammoniacal	13 ,1
Azote organique ($318^{mgr},7 - 13^{mgr},1$)	305 ,6

Étude de B_v (feuilles vertes dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $13^{gr},60 = 38,86$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$387^{mgr},6$
Azote ammoniacal	33 ,6
Azote organique ($387^{mgr},6 - 33^{mgr},6$).	354 ,0

Dans la solution ammoniacale, les feuilles blanches ont assimilé une grande quantité d'azote ($305^{mgr},6 - 209^{mgr},5 = 96^{mgr},1$), pendant que les feuilles vertes en ont assimilé beaucoup moins ($354^{mgr},0 - 301^{mgr},4 = 52^{mgr},6$).

Étude de C_b (feuilles blanches dans la solution nitrique).

Matière sèche : $6^{gr},90 = 19,71$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$266^{mgr},6$
Azote ammoniacal	9 ,1
Azote organique ($266^{mgr},6 - 9^{mgr},1$)	257 ,5
Azote nitrique assimilé par les feuilles blanches :	
$257^{mgr},5 - 209^{mgr},5 =$	48 ,0

Étude de C_v (feuilles vertes dans la solution nitrique).

Matière sèche : $13^{gr},50 = 38,57$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$578^{mgr},05$
Azote ammoniacal.	34 ,05
Azote organique ($578^{mgr},05 - 34^{mgr},05$)	544 ,00
Azote nitrique assimilé par les feuilles vertes :	
$544^{mgr},0 - 301^{mgr},4 =$	242 ,60

Contrairement aux feuilles blanches, les feuilles vertes d'érable assimilent l'azote nitrique beaucoup mieux que l'azote ammoniacal.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que la matière sèche des feuilles plongées dans les solutions sucrées, surtout pour les feuilles

blanches, est notablement supérieure à celle des deux lots plongés dans l'eau :

	FEUILLES	
	blanches.	vertes.
	—	—
	p. 100	p. 100
Lots plongés dans l'eau	15.00	36.43
Lots dans la solution ammoniacale	18.86	38.86
Lots dans la solution nitrique	19.71	38.57

Le pouvoir absorbant plus élevé des feuilles blanches est en corrélation avec leur pauvreté en substances hydrocarbonées.

Résultats de l'expérience VI.

LOTS.	AZOTE		
	organique et ammoniacal.	ammoniacal.	organique.
—	—	—	—
	milligr.	milligr.	milligr.
A_b. Feuilles blanches dans l'eau . . .	215,40	5,90	209,5
B_b. — dans la solution ammoniacale	318,70	13,10	205,6
C_b. Feuilles blanches dans la solution nitrique	266,60	9,10	257,5
A_v. Feuilles vertes dans l'eau	311,30	9,90	301,4
B_v. — dans la solution ammoniacale	387,60	33,60	354,0
C_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique	578,05	34,05	544,0

L'expérience VI démontre à l'évidence :

1° *Que les feuilles blanches de l'érable à feuilles de frêne à la lumière, assimilent beaucoup mieux l'azote ammoniacal que l'azote nitrique.*

2° *Que les feuilles vertes de la même espèce, exposées au soleil, assimilent énergiquement les nitrates et beaucoup moins bien l'azote ammoniacal.*

Nous discuterons plus loin cette préférence des feuilles vertes pour les nitrates.

Attirons tout de suite l'attention sur ce fait déjà constaté dans les expériences II et III, que les organes verts et blancs nourris avec la solution nitrique renferment des quantités assez importantes d'azote

ammoniacal. On peut donc supposer que l'acide nitrique, avant d'entrer dans la composition des matières albuminoïdes, doit, au préalable, être transformé en combinaison ammoniacale. Au reste, c'est une hypothèse qu'imposait, *a priori*, la composition de ces substances.

Il est aussi intéressant de remarquer que la quantité d'ammoniaque renfermée dans les lots B_v et C_v est la même. Serait-ce la limite de ce qui peut exister, sans nuire, dans les tissus mis en expérience ?

Expérience VII. — Feuilles blanches et feuilles vertes de l'érable à feuilles de frêne placées à l'obscurité.

La lumière est-elle vraiment nécessaire à l'assimilation de l'azote nitrique et ammoniacal par les feuilles blanches et par les feuilles vertes ? Les résultats de l'expérience II tendent à démontrer que les organes étiolés sont incapables de réaliser ce travail à l'obscurité. En est-il de même des feuilles pourvues de chlorophylle ?

L'expérience VII va nous éclairer à ce sujet.

On prépare deux lots de feuilles blanches d'érable à feuilles de frêne, pesant chacun 15 grammes, et deux lots de feuilles vertes, de 25 grammes chacun. Les matériaux employés proviennent d'un autre jardin que ceux de l'expérience VI. Les lots ont été composés soigneusement et on les a disposés au-dessus de vases en verre comme dans l'expérience VI.

Désignons ces lots par A_b, A_v, B_b, B_v. Les deux premiers plongent dans l'eau, B_b dans la solution ammoniacale et B_v dans la solution nitrique. Après les résultats des expériences V et VI, nous pouvions nous borner à étudier l'assimilation de l'azote ammoniacal sur les feuilles blanches, et celle de l'azote nitrique sur les feuilles vertes.

Les quatre lots en question sont placés, le 26 septembre, à 11 heures 1/2, dans l'armoire obscure du laboratoire (température variant de 15 à 20°). On a renouvelé les solutions et l'eau le 27 au soir. Le 30 septembre, à 7 heures du matin, c'est-à-dire après 3 jours 1/2, on a arrêté l'expérience.

Étude de A_b (feuilles blanches dans l'eau).

Matière sèche : $2^{gr},918 = 19,45$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$133^{mgr},9$
Azote ammoniacal	4 ,5
Azote organique ($133^{mgr},9 - 4^{mgr},5$)	129 ,4

Étude de A_v (feuilles vertes dans l'eau).

Matière sèche : $7^{gr},47 = 29,9$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$198^{mgr},25$
Azote ammoniacal.	9 ,70
Azote organique ($198^{mgr},25 - 9^{mgr},7$)	188 ,55

Les feuilles blanches renferment 4,44 p. 100 du poids sec en azote organique ; dans les feuilles vertes, il y en a seulement 2,52 p. 100. Celles-ci provenaient de rameaux particulièrement vigoureux, à végétation tardive ; elles étaient larges et épaisses, et avaient dû assimiler en abondance.

Étude de B_b (feuilles blanches dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $3^{gr},65 = 24,33$ p. 100.

Il y a eu une absorption considérable de sucre.

Azote organique et ammoniacal.	$138^{mgr},8$
Azote ammoniacal	11 ,9
Azote organique ($138^{mgr},8 - 11^{mgr},9$)	126 ,9

Étude de B_v (feuilles vertes dans la solution nitrique).

Matière sèche : $7^{gr},49 = 29,96$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$194^{mgr},7$
Azote ammoniacal	10 ,0
Azote organique ($194^{mgr},7 - 10^{mgr},0$).	184 ,7

Résultats de l'expérience VII.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.
—	— milligr.	— milligr.	— milligr.
A_b. Feuilles blanches dans l'eau . . .	133,90	4,5	129,40
B_b. — dans la solution ammoniacale	138,80	11,9	126,90
A_v. Feuilles vertes dans l'eau	198,25	9,7	188,55
B_v. — dans la solution nitrique	194,70	10,0	184,70

Il y a moins d'azote organique dans les lots plongés dans les solutions nutritives que dans les deux autres lots. Pour B_b, la différence ne dépasse pas la limite d'erreur provenant des analyses; pour B_v, elle est peut-être accidentelle, car, d'après Th. Schlœsing fils[1], on ne peut admettre qu'il y ait dégagement d'azote libre par les tissus végétaux. Nous savons encore qu'ils sont aussi incapables de nitrifier l'ammoniaque. Mais il a pu se former de l'ammoniaque aux dépens des matières azotées organiques.

A l'obscurité, les feuilles blanches n'assimilent pas l'azote ammoniacal et les feuilles vertes n'utilisent pas les nitrates pour élaborer des matières organiques azotées.

Évidemment, on peut aussi admettre qu'à l'obscurité les feuilles blanches n'assimilent pas les nitrates et que les feuilles vertes ne consomment pas les sels ammoniacaux.

Expérience VIII. — Feuilles blanches et feuilles vertes d'*Aspidistra elatior* exposées à la lumière.

Les plantes qui jusqu'ici ont été l'objet de nos recherches sont des dicotylédones. L'*Aspidistra* est une monocotylédone.

Nous avons eu la bonne fortune de disposer d'un assez grand nombre de feuilles, toutes blanches, d'*Aspidistra elatior fol. var.* provenant de plantes cultivées dans la même serre et dans les mêmes conditions de sol.

Nous en avons fait trois lots :

Lot A_b pesant.	20gr,5
Lot B_b pesant.	20 ,0
Lot C_b pesant.	21 ,0

En même temps, on a préparé trois lots de feuilles vertes de la même espèce, cueillies dans la même serre, mais sur des plantes complètement vertes. Ces lots pesaient : A_v 36 grammes, B_v 35 grammes et C_v 34 grammes.

---

1. Th. Schlœsing fils, Contribution à l'étude de la germination. (*Comptes rendus*, 10 juin 1895.)

Les six lots ont été placés dans des vases au fond desquels il y avait une couche de 4 centimètres d'eau ou de solution nutritive; les feuilles y plongeaient par la base de leur limbe, les pétioles ayant été coupés.

A_b et A_v plongeaient dans l'eau; B_b et B_v dans la solution ammoniacale; C_b et C_v dans la solution nitrique.

Le 2 octobre au soir, tous ont été placés dans une serre où la température a varié de 15 à 18°, à un endroit bien éclairé.

Le lendemain, il fit un beau soleil ainsi que le 4, de 10 à 12 heures, le 6, avant midi, et toute la journée du 8. Pendant le reste du temps, le ciel fut couvert et pluvieux. On a mis fin à l'expérience dans la soirée du 8 octobre.

Étude de A_b (feuilles blanches dans l'eau).

Matière sèche : $2^{gr},545 = 12,41$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$53^{mgr},60$
Azote ammoniacal	3 ,90
Azote organique ($53^{mgr},6 - 3^{mgr},9$)	49 ,70
Azote organique pour 100 de matière sèche	1 ,95

Étude de A_v (feuilles vertes dans l'eau).

Matière sèche : $11^{gr},750 = 32,64$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$191^{mgr},95$
Azote ammoniacal	19 ,20
Azote organique ($191^{mgr},95 - 19^{mgr},2$)	172 ,75
Azote organique pour 100 de matière sèche	1 ,47

Mêmes remarques que pour l'orme et l'érable, en ce qui concerne la proportion de la matière sèche et le taux d'azote organique.

Étude de B_b (feuilles blanches dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $2^{gr},810 = 14,05$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$82^{mgr},5$
Azote ammoniacal	12 ,7
Azote organique ($82^{mgr},5 - 12^{mgr},7$)	69 ,8

Étude de B_v (feuilles vertes dans la solution ammoniacale).

Matière sèche : $12^{gr},190 = 34,83$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$236^{mgr},65$
Azote ammoniacal	39 ,50
Azote organique ($236^{mgr},65 - 39^{mgr},5$)	197 ,15

Étude de C_b (feuilles blanches dans la solution nitrique).

Matière sèche : $2^{gr},8 = 13,33$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$68^{mgr},6$
Azote ammoniacal.	8 ,5
Azote organique ($68^{mgr},6 - 8^{mgr},5$)	60 ,1

Étude de C_v (feuilles vertes dans la solution nitrique).

Matière sèche : $12^{gr},2 = 35,88$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$260^{mgr},2$
Azote ammoniacal	28 ,2
Azote organique ($260^{mgr},2 - 28^{mgr},2$)	232 ,0

Les lots A_b, B_b et C_b n'avaient pas le même poids ; il en est de même des lots A_v, B_v et C_v. Si l'on calcule les quantités d'azote organique et ammoniacal pour 20 grammes des trois premiers et 35 grammes des trois derniers, on obtient les chiffres indiqués au tableau suivant :

Résultats de l'expérience VIII.

LOTS.	AZOTE organique.	AZOTE ammoniacal.
	milligr.	milligr.
A_b. Feuilles blanches dans l'eau	48,50	3,8
B_b. — dans la solution ammoniacale.	69,80	12,7
C_b. — dans la solution nitrique. . .	57,20	8,1
A_v. Feuilles vertes dans l'eau	167,95	18,7
B_v. — dans la solution ammoniacale. .	197,15	39,5
C_v. — dans la solution nitrique . . .	238,80	29,0

*A la lumière, les feuilles d'*Aspidistra *vertes et blanches assimilent l'azote nitrique et l'azote ammoniacal ; les premières préfèrent les nitrates et les secondes l'ammoniaque.*

Pour l'*Aspidistra*, comme pour l'orme et l'érable, le fait suivant se vérifie : tandis que les feuilles blanches ont une préférence marquée pour l'ammoniaque, les feuilles vertes assimilent beaucoup mieux l'acide nitrique.

Le faible pouvoir des feuilles privées de chlorophylle de réduire les nitrates se comprend aisément : elles ne peuvent utiliser pour ce travail les rayons absorbés par la chlorophylle.

Pour ce qui est des feuilles vertes, on comprend moins bien leur prédilection pour les nitrates. On sait depuis longtemps que parmi les plantes, supérieures et inférieures, il y a des espèces qui préfèrent les nitrates, d'autres les sels ammoniacaux et qu'il en est aussi pour lesquelles la nature du sel azoté est indifférente.

D'après Lœw, ces différences s'expliqueraient par l'action des combinaisons ammoniacales sur la cellule végétale : elle résisterait, suivant les espèces, à des doses d'ammoniaque plus ou moins considérables. Et cette résistance serait plus grande chez les espèces qui préfèrent l'ammoniaque.

Cette interprétation peut sans doute être appliquée dans le cas actuel, puisque, comme nous l'avons fait remarquer, dans l'expérience VI, il y avait la même quantité d'ammoniaque dans les feuilles vertes nourries avec la solution nitrique et la solution ammoniacale.

Néanmoins, nous sommes porté à croire que, à côté de l'influence de l'ammoniaque sur la cellule, il y a aussi l'action de ce corps produit à l'état naissant à la suite de la réduction des nitrates. Sinon, comment comprendre que pour la même espèce, les feuilles blanches assimilent activement l'ammoniaque ? Peut-être pourrait-on supposer que l'action nuisible de ce corps se ferait surtout sentir en présence de certains produits de l'assimilation chlorophylienne.

Expérience IX. — Quels sont les rayons qui interviennent dans l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique ?

Pour répondre à cette question, que résout incomplètement l'expérience I, nous avons eu recours aux feuilles blanches et aux feuilles vertes de l'*Acer negundo* et à la méthode des écrans absorbants. C'étaient les mêmes cloches et les mêmes solutions que dans l'expérience I.

L'expérience IX a été entreprise en même temps que l'expérience VII. On a fait quatre lots de 15 grammes de feuilles blanches et quatre lots de 25 grammes de feuilles vertes.

Les lots de feuilles blanches sont C_b, D_b, E_b et F_b ; ils plongent dans la solution ammoniacale. Les feuilles vertes des lots C_v, D_v, E_v et F_v ont les parties inférieures de leurs pétioles immergées dans la solution nitrique.

C_b et C_v sont placés côte à côte sous un écran formé par une couche de 30 millimètres de bichromate de potassium à saturation.

Les lots D_b et D_v sont recouverts par une solution de sulfate de cuivre ammoniacal de même épaisseur.

Les lots E_b et E_v sont placés sous la cloche double avec une solution de bisulfate de quinine à 2 p. 100.

Enfin les lots F_b et F_v sont recouverts par une cloche de mêmes dimensions que les trois premières, mais, entre ses parois doubles, il y a de l'eau.

Les quatre cloches se trouvent dans un endroit bien exposé au soleil, à partir du 26 septembre, à 11 heures 1/2 du matin. Le soleil, alors assez vif, a fait place, à 1 heure, à un temps couvert, qui a persisté jusqu'au soir.

Le 28, soleil pendant presque toute la journée.

Le 29, ciel un peu brumeux.

Le 30, à 7 heures du matin, on retire tous les lots en expérience.

On remarque que le lot D_b n'a pas bien plongé dans la solution et qu'il est partiellement desséché. Sous la couche, assez foncée, de sulfate de cuivre, cet accident avait passé inaperçu pendant la durée de l'expérience. L'assimilation a dû s'en ressentir.

Étude de C_b (feuilles blanches sous le bichromate de potassium).

Matière sèche : $2^{gr},9 = 19,33$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$144^{mgr},2$
Azote ammoniacal	11 ,4
Azote organique ($144^{mgr},2 - 11^{mgr},4$)	132 ,8

Étude de C_v (feuilles vertes sous le bichromate de potassium).

Matière sèche : $8^{gr},25 = 33$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal	$198^{mgr},4$
Azote ammoniacal.	10 ,5
Azote organique ($198^{mgr},4 - 10^{mgr},5$)	187 ,9

Étude de D_b (feuilles blanches sous le sulfate de cuivre).

Matière sèche : $2^{gr},94 = 19,6$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$143^{mgr},1$
Azote ammoniacal	8 ,5
Azote organique ($143^{mgr},1 - 8^{mgr},5$)	134 ,6

Étude de D_v (feuilles vertes sous le sulfate de cuivre).

Matière sèche : $8^{gr},375 = 33,5$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$248^{mgr},9$
Azote ammoniacal	17 ,0
Azote organique ($248^{mgr},9 - 17^{mgr},0$).	231 ,9

Étude de E_b (feuilles blanches sous le sulfate de quinine).

Matière sèche : $3^{gr},01 = 20,07$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$134^{mgr},6$
Azote ammoniacal	3 ,6
Azote organique ($134^{mgr},6 - 3^{mgr},6$)	131 ,0

Étude de E_v (feuilles vertes sous le sulfate de quinine).

Matière sèche : $8^{gr},67 = 34,7$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$199^{mgr},0$
Azote ammoniacal	13 ,4
Azote organique ($199^{mgr},0 - 13^{mgr},4$)	185 6

Étude de F_b (feuilles blanches sous l'eau).

Matière sèche : $3^{gr},22 = 21,46$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$168^{mgr},1$
Azote ammoniacal	8 ,4
Azote organique ($168^{mgr},1 - 8^{mgr},4$)	159 ,7

Étude de F_v (feuilles vertes sous l'eau).

Matière sèche : $8^{gr},42 = 33,68$ p. 100.

Azote organique et ammoniacal.	$279^{mgr},5$
Azote ammoniacal	32 ,6
Azote organique ($279^{mgr},5 - 32^{mgr},6$)	246 ,9

Remarquons l'augmentation de la matière sèche des lots D_b, D_v, E_b, E_v, de F_v et surtout de F_b.

Aux chiffres exprimant les résultats précédents, joignons ceux de l'expérience VII, faite le même jour et avec les mêmes matériaux. Les lots de cette expérience serviront de témoins.

A cause de la dessiccation des feuilles, nous ne tiendrons pas compte du chiffre relatif à D_b.

Disons encore que, au moment où l'expérience a été commencée, le 26 septembre, beaucoup de feuilles de l'érable à feuilles de frêne étaient sur le point de tomber : elles n'ont donc pu fonctionner comme elles l'auraient fait plus tôt. C'est à cette cause qu'il faut attribuer, sans aucun doute, le peu d'azote que le lot F_b (sous l'eau) a assimilé ; comme on le voit au tableau VI, des feuilles de la même variété avaient été beaucoup plus actives dans les premiers jours de septembre.

Résultats des expériences VII et IX.

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.
	milligr.	milligr.	milligr.
A_b. Feuilles blanches dans l'eau à l'obscurité. . .	133,90	4,5	129,40
B_b. Feuilles blanches dans la solution ammoniacale à l'obscurité	138,80	11,9	126,90
C_b. Feuilles blanches dans la solution ammoniacale sous le bichromate de potassium	144,20	11,4	132,80
D_b. Feuilles blanches dans la solution ammoniacale sous le sulfate de cuivre	»	»	»
E_b. Feuilles blanches dans la solution ammoniacale sous le sulfate de quinine	134,60	3,6	131,00
F_b. Feuilles blanches dans la solution ammoniacale sous l'eau	168,10	8,4	159,70
A_v. Feuilles vertes dans l'eau à l'obscurité. . . .	198,25	9,7	188,55
B_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique à l'obscurité	194,70	10,0	184,70
C_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique sous le bichromate de potassium	198,40	10,5	187,90
D_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique sous le sulfate de cuivre.	248,90	17,0	231,90
E_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique sous le sulfate de quinine	199,00	13,4	185,60
F_v. Feuilles vertes dans la solution nitrique sous l'eau	279,50	32,6	246,90

De l'expérience IX, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1° *Il n'y a pas assimilation de l'azote nitrique par les feuilles*

vertes de l'Acer negundo *sous les solutions de bichromate de potassium et de sulfate de quinine. Cette assimilation est très active sous la solution de sulfate de cuivre et sous l'eau. Ce sont donc les rayons ultra-violets qui interviennent dans cette assimilation.*

2° Avec les feuilles blanches de la même espèce, il n'y a qu'une assimilation minime de l'azote ammoniacal, et peut-être elle est nulle, sous les solutions de bichromate de potassium et de sulfate de quinine ; sous l'eau, elle est considérable. L'assimilation de l'ammoniaque est donc stimulée par les rayons ultra-violets.

Les essais avec les feuilles blanches placées sous des écrans absorbants seront répétés l'an prochain, afin de nous assurer s'il y a réellement une légère assimilation de l'ammoniaque dans la région lumineuse du spectre.

Le rôle des rayons ultra-violets dans la synthèse des matières albuminoïdes avait déjà été mis en évidence, mais par une autre voie, dans des recherches entreprises par J. Sachs[1]. Il avait vu que des plantes soustraites aux radiations ultra-violettes sont incapables de fleurir, faute de pouvoir produire les substances albuminoïdes nécessaires à la formation des boutons floraux.

Expérience X. — Plantes d'orge conservées à l'obscurité.

Les expériences que nous venons de rapporter étaient terminées, lorsque nous avons eu connaissance d'un travail de Kinoshita[2] sur l'assimilation de l'azote des nitrates et des sels ammoniacaux.

En opérant à l'obscurité sur de jeunes plantes d'orge et de maïs cultivées dans du sable et arrosées avec des solutions de nitrate de sodium et de chlorure d'ammonium, cet expérimentateur a obtenu le résultat suivant : lorsque les tiges d'orge avaient 20 centimètres de hauteur et celles de maïs 40 centimètres, les unes et les autres renfermaient plus d'azote organique que d'autres plantes des mêmes espèces, cultivées dans les mêmes conditions, mais arrosées avec de

1. J. Sachs, Ueber die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Blüthenbildung. (*Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg,* Bd. III, p. 372, 1887.)

2. *Loc. cit.*

l'eau pure. Les plantes qui avaient reçu le sel ammoniacal renfermaient beaucoup d'asparagine ; au contraire, ce corps n'a pas augmenté dans les plantes arrosées avec la solution de nitrate de sodium.

Nous avons répété cette expérience et nous avons obtenu des résultats qui ne concordent pas avec ceux de Kinoshita.

Le 6 octobre 1896, nous avons fait six lots de 80 graines d'orge de grosseur aussi régulière que possible et qui provenaient d'une malterie ; les racines ont environ 1 centimètre de long et les tigelles commencent à poindre.

Poids des lots :

Lot A	6gr,72
Lot B	6 ,38
Lot C	6 ,54
Lot D	6 ,37
Lot E	6 ,17
Lot F	6 ,51

Les lots A, B et C sont placés sur des étamines au-dessus de bocaux cylindriques contenant de l'eau privée de combinaisons azotées ; chaque lot est recouvert d'une cloche reposant sur une assiette.

Les lots D, E et F sont plantés dans des pots avec du sable calciné auquel on a ajouté 12 p. 100 d'eau privée de combinaison azotée. Les pots sont aussi placés sur une assiette et recouverts de cloches.

Le 20 octobre au matin, on s'assure que la germination a été très régulière ; quelques graines à peine n'ont pas continué à croître. Les tiges ont de 4 à 5 centimètres de longueur.

On remplace l'eau de B par la solution ammoniacale sans sucre et celle de C par la solution nitrique, également sans sucre. Le lot E est simplement arrosé avec la solution ammoniacale sans sucre et le lot F par la solution nitrique dépourvue de sucre. Pour ne pas déranger les jeunes plantules, on ne verse pas les solutions au-dessus du sable, mais sur l'assiette, de façon qu'elles remontent par imbibition.

Tous les jours on arrose ainsi les trois pots, D recevant simple-

ment de l'eau ; de deux en deux jours, on renouvelle, en les siphonant, les liquides de C et B.

Le développement des six cultures a été aussi régulier que la germination ; sous l'influence des matières minérales, les lots B, C, E et F étaient un peu plus beaux que A et D. Nous avions oublié de donner à ceux-ci, au lieu d'eau, la solution minérale privée d'azote.

Le 30 octobre, dans tous les lots, la plupart des tiges avaient environ 20 centimètres de hauteur. On a mis fin à l'expérience et soumis chaque lot à un examen attentif. Seules, les quelques graines qui n'avaient pas continué à croître présentaient des traces de moisissures. On a pu facilement rassembler les plantes qui avaient été placées sur les étamines et ne point perdre la moindre radicelle. Pour celles qui avaient été cultivées dans du sable, celui-ci adhérait si intimement aux poils radicaux que nous avons renoncé à l'éliminer complètement. Une certaine quantité de sable se trouvait donc mélangée à la matière sèche et se retrouvera après dessication.

Tous les lots ont été desséchés immédiatement.

Dans un lot de 10 grammes de graines analogues à celles qui avaient été mises en culture, on a trouvé :

Azote organique et ammoniacal.	$111^{mgr},0$
Azote ammoniacal	5 ,3
Azote organique.	105 ,7

Le poids des six lots sera ramené plus loin à 6 grammes ; dans ce poids de graines, il y a donc des quantités d'azote égales aux 6/10 des chiffres ci-dessus, soit $66^{mgr},6$, $3^{mgr},2$ et $63^{mgr},4$.

L'analyse des plantes composant les lots, restes des graines compris, a donné des résultats qui ne peuvent pas être aussi exacts que ceux donnés par les expériences précédentes.

Voici pourquoi : les enveloppes des graines épuisées se mêlent assez difficilement aux tiges et aux racines pulvérisées après dessication ; en outre, la présence d'une certaine quantité de sable dans les lots D, E et F n'a pas permis d'en avoir des échantillons parfaits pour l'analyse. Et nous ne pouvions songer à doser l'azote total dans chaque lot, puisque nous devions tenir compte de l'azote ammoniacal.

Il faudra faire la part de ces difficultés dans l'examen des résultats des analyses.

Étude de A. — Matière sèche, $2^{gr},7$.

	Dans $6^{gr},72$.	Dans 6 gr.
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	74,5	66,5
Azote ammoniacal	8,4	7,5
Azote organique	66,1	59,0

Étude de B. — Matière sèche, $2^{gr},58$.

	Dans $6^{gr},38$.	Dans 6 gr.
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	83,8	78,8
Azote ammoniacal	14,2	13,4
Azote organique	69,6	65,4

Étude de C. — Matière sèche, $2^{gr},885$.

	Dans $6^{gr},54$.	Dans 6 gr.
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	74,8	68,6
Azote ammoniacal	10,6	9,7
Azote organique	64,2	58,9

Étude de D. — Matière sèche, $4^{gr},01$ (avec sable).

	Dans $6^{gr},37$.	Dans 6 gr
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	85,3	80,3
Azote ammoniacal	12,0	11,3
Azote organique	73,3	69,0

Étude de E. — Matière sèche, $4^{gr},32$ (avec sable).

	Dans $6^{gr},17$.	Dans 6 gr.
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	91,5	88,9
Azote ammoniacal	19,5	18,9
Azote organique	72,0	70,0

Étude de F. — Matière sèche, $3^{gr},48$ (avec sable).

	Dans $6^{gr},51$.	Dans 6 gr.
	milligr.	milligr.
Azote organique et ammoniacal	89,1	82,1
Azote ammoniacal	10,1	9,3
Azote organique	79,0	72,8

Résultats de l'expérience X.

(Calculés pour un poids initial de 6 grammes de graines.)

LOTS.	AZOTE organique et ammoniacal.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE organique.
—	—	—	—
	milligr.	milligr.	milligr.
Échantillon pris au moment de la mise en expérience.	66,6	3,2	63,4
A. Graines avec eau.	66,5	7,5	59,0
B. — avec solution ammoniacale . .	78,8	13,4	65,4
C. — avec solution nitrique	68,6	9,7	58,9
D. — dans le sable avec eau	80,3	11,3	69,0
E. — dans le sable avec solution ammoniacale	88,9	18,9	70,0
F. Graines dans le sable avec solution nitrique	82,1	9,3	72,8

Comme nous le faisions pressentir plus haut, ces résultats n'ont pas la netteté de ceux que nous avons obtenus avec les feuilles. Ainsi, pour s'en convaincre, il suffit de comparer la teneur en azote organique de l'échantillon original, de A et de D. Dans A et C, on serait tenté de voir une diminution de l'azote organique avec transformation partielle en ammoniaque. Cette expérience demande à être répétée et c'est ce que nous ferons prochainement. En attendant, nous croyons pouvoir conclure qu'il n'y a pas eu dans l'expérience X assimilation de l'azote ammoniacal ni de l'azote nitrique.

Les résultats de Kinoshita s'expliquent soit par des accidents analogues à celui que nous venons de signaler, soit, ce qui est plus probable, par le développement de moisissures sur les graines mises en culture. Lorsque ces champignons apparaissent sur une matière organique imbibée d'une solution nitrique et surtout ammoniacale, il faut s'attendre à ce qu'ils assimilent de l'azote de ces combinaisons. Nous avons eu l'occasion d'en avoir la preuve dans un essai fait à l'obscurité avec des tiges étiolées de pommes de terre.

Le témoin renfermait au début de l'expérience $32^{mgr},9$ d'azote organique. Quatre jours plus tard, un lot de même poids, plongé dans la solution ammoniacale (température, 20 à 25°), renfermait $54^{mgr},4$ d'azote organique ; un autre lot, plongé en même temps

dans la solution nitrique, a donné à l'analyse $67^{mgr},7$ d'azote organique. On n'avait pas renouvelé les solutions et de nombreux filaments mycéliens avaient envahi les tiges, déjà souffrantes au début de l'expérience.

Conclusions.

1° *Chez les plantes supérieures, l'assimilation des nitrates n'a pas lieu à l'obscurité ; elle exige l'intervention des rayons ultra-violets.*

2° *Pour les sels ammoniacaux, l'influence des mêmes rayons est sûrement prédominante ; il se peut cependant que les rayons lumineux provoquent une faible assimilation de l'ammoniaque dans les feuilles blanches.*

3° *L'intervention de la chlorophylle n'est pas nécessaire ; les feuilles blanches assimilent même mieux l'azote ammoniacal que les feuilles vertes.*

4° *L'assimilation de l'azote nitrique donne lieu à une production intérimaire d'ammoniaque.*

Ce travail met une fois de plus en relief le rôle dévolu à la radiation solaire dans l'économie de la nature : elle ne donne pas seulement aux plantes supérieures l'énergie nécessaire à la synthèse des matières hydrocarbonées ; elle est aussi indispensable à la production, par ces végétaux, des substances albuminoïdes, ces éléments fondamentaux de la matière vivante.

LES GISEMENTS

DE PHOSPHATES DE CHAUX

D'ALGÉRIE

Par L. GRANDEAU

I

La Société des ingénieurs civils de France a publié, dans son Bulletin du mois d'août dernier, un important mémoire de l'un de ses membres, M. L. Chateau, sur *les gisements de phosphates de chaux* dans les provinces de Constantine et d'Alger. Cette monographie, la plus complète qui ait paru jusqu'ici sur ce sujet, doit attirer l'attention des agriculteurs, des économistes et des pouvoirs publics de France et d'Algérie. L'auteur, en effet, ne nous apporte pas seulement le résultat de ses études techniques sur la nature géologique des gisements, leur étendue, leur richesse et leur exploitation; il aborde, en s'appuyant sur les documents et les chiffres puisés aux sources les plus sûres, l'examen des graves questions soulevées par la découverte de ces immenses dépôts d'une matière première qui est à l'agriculture ce que la houille est à l'industrie. Il est de toute urgence, comme nous le verrons plus loin, que le Parlement donne une solution à la question légale de l'exploitation des phosphates d'Algérie. Le *statu quo* en se prolongeant paralyse toutes les entreprises que notre colonie d'abord, notre commerce et notre agriculture ensuite, ont un intérêt de premier ordre à voir aboutir sous l'empire d'une législation libérale.

Depuis le mois d'octobre 1895, c'est-à-dire depuis plus de deux ans, les Chambres sont saisies d'un projet de loi qui, il faut l'espérer, dans l'intérêt de l'Algérie aussi bien que dans celui de l'industrie et de l'agriculture françaises, devra subir de profondes modifications; il faut enfin que ce projet arrive en discussion au Parlement si l'on ne veut pas tarir pour longtemps et irrémédiablement peut-être une source féconde au premier chef en bienfaits pour la colonie et pour la métropole.

Il ne m'est pas possible dans cette revue, cela va de soi, de présenter une analyse tant soit peu complète du travail, considérable à tous égards, de M. L. Chateau; mais j'atteindrai le but que je me propose si l'aperçu que je vais tenter d'en donner provoque à le lire et à le méditer ceux qui auront à se prononcer bientôt sur la solution à apporter à cette question quasi vitale, pour l'avenir de l'une de nos industries les plus considérables, et si importante pour l'agriculture de la France et de l'Algérie.

Laissant de côté la partie descriptive et technique où l'auteur étudie en détail, avec une entière compétence, les gisements des provinces de Constantine et d'Alger, exposé dont l'intelligence nécessite, d'ailleurs, la consultation des excellentes cartes qui accompagnent le texte, je m'attacherai à résumer les constatations indispensables pour donner une idée précise de l'importance économique et agricole de la question.

La découverte des gîtes de phosphates sédimentaires, due à un vétérinaire militaire, M. Philippe Thomas, remonte à peine à vingt-cinq ans. En 1873, ce géologue distingué a découvert l'existence d'une zone phosphatée dans la vallée du Chélif, près de Boghar. Mais c'est en 1888 seulement qu'il a fait connaître ces gisements dans une note adressée à l'Académie des sciences. Poursuivant, en 1885, ses explorations dans le sud de la Tunisie, M. Thomas découvre les fameux gisements de Gafsa. C'est encore lui qui signale, peu après, le gîte très important du Guélaat-ès-Snam, sur la frontière de Tunisie, continuation du plateau du Dyr, près de Tebessa. MM. Ficheur, Jacob, Blayac, de leur côté, firent ensuite connaître de nombreux gîtes dans les provinces d'Alger et de Constantine; enfin, pendant les années 1895 et 1896, M. L. Chateau, dans son voyage

d'exploration et d'études, en a également découvert quelques autres.

Tous ces gisements appartiennent à l'étage géologique désigné sous le nom de Suessonien (Eocène de l'âge tertiaire).

Présentement, il existe trois centres d'extraction : un dans le djebel Kouif, exploité par la Compagnie anglaise fondée par M. Jacobsen ; deux dans le djebel Dyr, exploités, l'un par une autre société anglaise (Crookston frères, de Glasgow), l'autre par une compagnie française, à Aïn-Kissa.

Les phosphates de ces gisements sont riches : 70 à 73 p. 100 de phosphate pur, associé à 10 à 13 p. 100 de calcaire. Les minerais algériens, pris dans leur ensemble, ont des teneurs en phosphate pur variant de 55 à 73 p. 100 et une teneur en calcaire allant de de 10 à 40 p. 100 ; leur teneur en alumine et en fer est faible, ce qui les rend très propres à être transformés en superphosphates.

J'aurai occasion de revenir plus loin sur l'inégale richesse des minerais en phosphate pur, condition dont il est essentiel de tenir grand compte dans la législation à venir pour en réglementer l'exploitation.

La longue description que M. Chateau fait des gisements algériens déjà connus[1] montre combien ils sont abondants, et il n'est pas douteux, ainsi qu'il le fait observer, que le travail de découvertes, entravé par la législation actuelle qui n'encourage pas l'initiative privée, est loin d'être terminé.

Tous les gisements ne sont pas exploitables, et il est bien difficile, à l'observateur le plus attentif, de faire une évaluation, même approximative, des quantités de phosphates disponibles. M. L. Chateau compte actuellement dans la province de Constantine 17 gîtes exploitables, géologiquement parlant, et il estime qu'on peut porter de 150 à 200 000 000 de tonnes de phosphate, titrant de 50 à 70 p. 100, la puissance de l'ensemble de ces gisements ; cette quantité de phosphate, pour le dire en passant, correspondrait à la consommation actuelle de la France pendant quatre siècles environ.

---

1. Les géologues et les chimistes liront avec un grand intérêt cette partie du mémoire que je passe forcément sous silence.

Mais il ne suffit pas qu'un gîte de phosphate soit exploitable, géologiquement parlant. Pour qu'il le soit industriellement, il faut que la richesse du minerai d'une part, les facilités d'exploitation et de transport de l'autre satisfassent, à des conditions dont dépendent absolument les résultats d'une entreprise industrielle. M. Chateau estime que les gisements de phosphates riches, nécessitant pour leur mise en œuvre des raccordements de voies ferrées n'excédant pas 25 kilomètres, pourraient ensemble produire annuellement, lorsqu'ils seront en pleine exploitation, un tonnage de 1 200 000 à 1 500 000 tonnes, chiffre qui correspond actuellement à peu près à la consommation en phosphate de l'Europe entière. Cette production laisserait encore une réserve de minerai pour de longues années.

Les chemins de fer actuellement existant en Algérie ne sont pas en état d'effectuer le transport de ce gros tonnage. Il y a donc lieu de prévoir, de ce chef, des améliorations indispensables dont nous parlerons plus tard.

L'exploitation des phosphates algériens exige pour la mise en œuvre des gisements et la construction d'embranchements de voies ferrées, le concours de capitaux très importants, fait dont il faut tenir grand compte dans le régime légal à appliquer aux exploitants.

M. Chateau aborde, dans ses détails, la question du prix de revient des phosphates, qu'il arrive à fixer, tous frais compris, pour le minerai rendu dans un port d'Europe, entre 30 et 32 fr. la tonne. Ce prix de revient, M. L. Chateau le base sur une exploitation marchant dans de bonnes conditions, c'est-à-dire disposant d'un minerai abondant, relativement facile à extraire, dont la concession a pu être obtenue à un prix peu élevé[1], pas trop éloigné de la voie ferrée et faisant son broyage au port d'embarquement, afin d'éviter d'amener sur les chantiers du combustible dont les tarifs de transport sont d'un prix inabordable sur les lignes algériennes. M. Chateau suppose enfin que la compagnie exploitante possède au port d'embarquement un magasin relié à la voie ferrée et que, sans de grosses manutentions, elle pourra charger directement ses minerais à l'aide

1. Redevance de 1 fr. par tonne.

d'un treuil sur le navire. J'insiste sur ces détails parce que le prix de revient occupe dans l'industrie des phosphates une importance primordiale que j'aurai bientôt l'occasion de mettre en lumière.

L'exploitation des phosphates d'Algérie, par suite de l'incertitude où sont restés longtemps les exploitants, n'a pas pris l'essor sur lequel les compagnies existantes pensaient pouvoir compter avec leur outillage perfectionné. Malgré cela, l'exportation a progressé très rapidement : les expéditions du rayon de Tebessa par le port de Bône, de 6 000 tonnes, en 1893, se sont élevées à 158 000 tonnes en 1896, se répartissant, comme suit, entre les trois compagnies :

Société française (Aïn-Kissa)	23 600	tonnes.
Société Crokston (le Dyr)	49 000	—
Société Jacobsen (le Kouif).	85 500	—
Total	158 100	—

On pense atteindre cette année un tonnage de 160 à 170 000 tonnes qui ne pourra guère être dépassé, la Compagnie de Bône-Guelma n'étant pas en mesure de transporter plus de 180 000 tonnes.

A eux seuls, quatre pays ont absorbé plus de 80 p. 100 de la production de l'année 1896. Les phosphates expédiés se sont ainsi répartis :

Angleterre	53 800	tonnes.
France	36 600	—
Italie	20 500	—
Allemagne	17 300	—

Pour se rendre compte des conditions économiques où se trouvent les exploitants de phosphates en Algérie, il est nécessaire d'analyser la situation du commerce et l'état du marché des phosphates dans le monde. M. L. Chateau a résumé, avec beaucoup de clarté, les principaux éléments de cette question si complexe. Nous allons, à son aide, tâcher d'en présenter succinctement une vue d'ensemble.

La consommation du phosphate en agriculture a doublé depuis dix ans et mes lecteurs savent qu'elle est loin, malgré cela, de répondre aux besoins du sol. Des fluctuations énormes dans les prix ont marqué cette période décennale ; nous y insisterons plus loin.

Comment se répartit la production du superphospate en Europe ?

Quelle origine ont les phosphates qui servent à la fabrication du précieux engrais? Quelle est l'importance relative des importations et des exportations? Tels sont les points qu'il importe de préciser et dont le législateur doit se pénétrer dans l'élaboration du régime légal à introduire en Algérie.

En 1895, la production du superphosphate, en Europe, a été évaluée comme suit par les personnes les plus autorisées :

Allemagne	800 000	tonnes.
France	750 000	—
Royaume-Uni	750 000	—
Belgique	300 000	—
Italie	150 000	—
États scandinaves	35 000	—
Autriche	65 000	—
Pays-Bas	30 900	—
Autres pays	30 000	—
Total	2 910 000	—

Soit, en nombre rond, *trois millions* de tonnes. La quantité de phosphate nécessaire pour cette énorme production peut être estimée à 1 500 000 tonnes.

En 1895, on en a importé ou extrait, en Europe, environ 1 400 000 tonnes ainsi réparties :

Floride	425 000	tonnes.
Caroline	125 385	—
France	375 000	—
Belgique	300 000	—
Algérie	136 000	—
Norvège, Canada, etc	30 000	—
Total	1 391 895	—

Les stocks anciens ont donc dû concourir, en 1895, à la fabrication du superphosphate pour un poids d'environ 150 000 tonnes.

Les quatre grandes sources de phosphates dans le monde[1] sont, d'après cela, les États-Unis ; la France, avec le bassin de la Somme;

1. Non compris les phosphates russes qui commencent à être exploités, mais ne sont pas encore l'objet d'une exportation de quelque importance.

la Belgique, avec les bassins de Mons et de Liège ; la Tunisie et l'Algérie.

Personne n'ignore, comme le fait observer M. L. Chateau, que les gisements français de la Somme, qui ont pendant longtemps alimenté, avec les phosphates belges, le marché des engrais, sont, quoi qu'on en dise, fortement amoindris et en voie d'être bientôt épuisés. En Belgique, les bassins de Mons et de Liège sont dans une situation encore plus avancée peut-être, étant donné en outre que les produits des environs de Liège sont d'un titre peu élevé et ne peuvent circuler au loin. Les deux sources de phosphate qui sont appelées à dominer désormais sont donc les gisements des États-Unis, d'une part, et ceux d'Algérie et de Tunisie, d'autre part. Le mouvement des importations et des exportations de phosphates naturels en France, depuis 1889, confirme ces appréciations ; il montre qu'après avoir été, jusqu'en 1894, exportateurs de phosphates bruts, nous sommes depuis cette époque importateurs : l'exédent des exportations sur les importations, qui était, en 1889, de 145 000 tonnes, est tombé à 29 000 tonnes en 1894, et aujourd'hui, la France importe annuellement 60 à 70 000 tonnes. Ainsi, au fur et à mesure de l'épuisement des gisements de la Somme, l'excédent de nos exportations sur nos importations a rapidement décliné et ce sont aujourd'hui les phosphates étrangers qui pénétrent comme matière première dans nos usines.

Cet état de choses ne semble pas du reste avoir beaucoup influé sur le mouvement des produits fabriqués livrés à l'agriculture. Si nous nous reportons, en effet, à la statistique générale des douanes, voici ce que nous constatons : en 1890, nos importations en superphosphates étaient de 99 440 tonnes, et nos exportations de 27 327 tonnes ; l'excédent des premières sur les secondes était donc de 72 119 tonnes. En 1896, nous importions 124 115 tonnes et nous exportions 43 951 tonnes. L'excédent des importations sur les exportations s'élevaient à 81 164 tonnes : il n'a donc varié, de 1890 à 1896, que de moins de 10 000 tonnes : c'est la Belgique qui fournit les 9/10es de notre importation en superphosphate.

Pour pouvoir apprécier l'importance capitale qui s'attache pour la France, autant que pour notre colonie, à la solution libérale que

l'exploitation des phosphates d'Algérie doit recevoir du Parlement, il est indispensable de se faire une idée précise du développement, dans l'extraction et dans les expéditions, des redoutables concurrents que rencontrent aux États-Unis nos gisements algériens. Nous verrons, en serrant de près la question, que l'Algérie est merveilleusement placée pour prendre en Europe, dans cette branche d'industrie, une place prépondérante, si les mesures administratives viennent donner aux capitaux la confiance que peut seule inspirer une législation libérale, assurant aux entreprises une stabilité incompatible avec le projet de loi de 1895, comme il nous sera aisé de le démontrer.

II

L'agriculture européenne consomme actuellement, par année, 3 000 000 de tonnes de superphosphate nécessitant, pour leur fabrication, environ moitié de ce poids de phosphates bruts. Dans ces dernières années, ces 1 500 000 tonnes de matières premières ont été fournies à peu près exclusivement par les gisements de cinq pays, dans les proportions suivantes :

Floride et Caroline	40	p. 100.
France	27	—
Belgique	21	—
Algérie	10	—
Norvège, Canada, etc.	2	—
Total	100	—

Bien que la part de la France et de l'Algérie réunies soit presque égale à celle des États-Unis, dans l'approvisionnement de l'Europe en phosphates bruts, on se tromperait grandement en admettant qu'il doive en être ainsi longtemps encore, si une législation libérale et protectrice des véritables intérêts des producteurs et des consommateurs de phosphates algériens ne vient pas promptement donner à l'exploitation des gisements de notre colonie l'essor trop longtemps retardé par l'incohérence des agissements administratifs

et les difficultés de tout genre auxquelles ont été en butte les premiers exploitants.

La question qui se pose à propos de la législation relative à l'exploitation des phosphates est de la plus haute gravité pour l'avenir de l'Algérie autant que pour celui de l'industrie et de l'agriculture françaises. On ne saurait donc l'envisager avec trop d'attention pendant qu'il en est temps encore, c'est-à-dire avant la discussion du projet de loi déposé depuis bientôt deux ans au Parlement (janvier 1896).

Il ne s'agit rien moins, en effet, que de décider si une loi libérale, encourageant l'initiative privée, offrant aux capitaux très considérables qu'exige l'industrie des phosphates une stabilité indispensable à toute grande entreprise, viendra permettre aux phosphates algériens de prendre sur les marchés français et européens la place qui peut et doit leur appartenir.

Le projet de loi du 18 janvier 1896, s'il était voté sans les modifications capitales que j'indiquerai tout à l'heure, aurait pour résultat inévitable, bien qu'allant à l'encontre des intentions de ses auteurs, cela va sans dire, d'augmenter, de plus en plus, l'exportation des phosphates américains vers l'Europe et d'assurer aux gisements des États-Unis l'approvisionnement presque exclusif des fabriques de superphosphates du continent. Le jour, plus proche peut-être qu'on ne semble le croire dans certains milieux, où les gisements riches de France et de Belgique seront épuisés, il serait bien à craindre, suivant l'expression de M. L. Chateau, que, si le projet déposé était promulgué dans son ensemble, l'exploitation industrielle des phosphates en Algérie ait vécu et que ces beaux gisements, uniques au monde, deviennent une simple curiosité scientifique.

Sur quelles bases solides repose cette assertion ? Dans quel esprit doit, suivant nous, être conçue la législation sur les phosphates d'Algérie si impatiemment attendue du monde commercial et agricole ? C'est ce que je demande à mes lecteurs la permission d'exposer aussi nettement qu'il me sera possible de le faire.

L'ensemble des documents et des chiffres que M. L. Chateau a réunis avec tant de soin dans son intéressant travail, va nous permettre d'abord de bien préciser les conditions de la redoutable con-

currence que les gîtes algériens rencontrent dans le développement des exploitations de la Floride.

Quelques chiffres suffisent pour donner une idée de la rapidité des progrès accomplis en moins de six années dans l'extension et l'exportation des phosphates américains. A eux seuls les gisements de la Floride ont donné lieu aux exportations suivantes :

En 1890.	26 688 tonnes.
En 1894.	522 120 —
En 1896.	498 258 —

D'après les relevés statistiques de l'*American Fertiliser*, la production totale des gisements de la Floride, de la Caroline et du Tennessee a été en 1896 de 854 454 tonnes ; la consommation locale, de 347 823 tonnes et l'exportation de 477 431 tonnes.

De 522 000 tonnes qu'elle était, en 1894, l'exportation de la Floride est tombée un peu au-dessous de 500 000 tonnes en 1895 et 1896 ; cette diminution de 25 000 tonnes a été causée par la débâcle qui s'est produite en Europe dans les cours de vente du phosphate, à la nouvelle de la découverte des gisements d'Algérie. En 1895 et en 1896, un certain nombre d'exploitants américains ont même suspendu leurs travaux, quand cette situation est venue se compliquer de la hausse du fret. Malgré cela, la statistique des arrivages de Floride montre qu'ils ont encore eu lieu couramment en 1896, non seulement dans nos ports de l'Océan, comme Bordeaux, la Pallice, Nantes, mais que les ports de la Méditerranée, qui devraient être déjà les clients exclusifs des phosphates algériens (Gênes, Venise, Barcelone et Saint-Louis-du-Rhône), ont reçu des arrivages très importants de minerais américains, bien que l'Algérie fût en mesure de servir cette clientèle, en 1896.

A quoi tient-il que les ports européens, même les plus voisins des gisements algériens, soient approvisionnés par les phosphates de la Floride ? Quels sont les principaux motifs qui permettent à la Floride de lutter avec les gisements algériens sur le marché européen ? La situation peut-elle se modifier et comment ? Tels sont les points qu'il importe d'examiner d'autant plus attentivement que les faits révélés par cet examen devront être pris en très grande considé-

ration dans la confection de la législation sur les phosphates algériens.

La première constatation de fait est la différence sensible de richesse en phosphate pur des minerais de la Floride et de l'Algérie. J'ai dit précédemment que la teneur en phosphate des minerais algériens oscille entre 55 et 73 p. 100 : celle des minerais de Floride varie de 75 à 85 p. 100. Il faut donc, d'une part, que l'abaissement du prix de revient des phosphates d'Algérie pouvant servir à la fabrication des superphosphates, c'est-à-dire d'une richessse moyenne de 67 à 68 p. 100 et, de l'autre, la différence du fret amènent nos phosphates algériens dans les ports européens à un prix au moins égal, sinon inférieur, à celui des phosphates des États-Unis. Examinons tout de suite, avec M. L. Chateau, la question du fret. Présentement, par suite de la situation économique des États-Unis, les importations d'Europe en Amérique ont fortement diminué; les navires, en retour, sont naturellement devenus beaucoup plus rares et les prix du fret pour le continent ont subi une notable augmentation. Les dix-huit vapeurs expédiés en 1896, de Floride sur Stettin, ont eu un fret moyen de 21 fr. 45 c. par tonne. Les dix vapeurs expédiés de Bône sur Stettin ont payé un fret moyen de 11 fr. 25 c. Si nous admettons avec M. L. Chateau que les expéditions de Floride avaient un titre moyen de 80 p. 100, on voit que le fret représentait, par unité de phosphate et par tonne, environ 27 centimes, tandis que les phosphates algériens qui titraient autour de 67 p. 100 avaient, par unité de phosphate et par tonne, un prix de fret de 17 centimes environ. D'une façon générale, en Baltique et dans tous les ports de l'Europe du Nord, l'Algérie a donc un avantage de 10 centimes par unité de phosphate et par tonne, sur les prix de transport de Floride. Cette différence permet à ses minerais de s'introduire dans des usines où, en général, on préfère traiter les phosphates plus riches de Floride; elle s'accentue naturellement en Méditerranée. Mais il ne faut pas perdre de vue que si, dans quelques années, la politique économique des États-Unis subissait une nouvelle évolution, le prix du fret en retour d'Amérique baisserait forcément et que la différence au profit de l'Algérie pourrait s'atténuer et même disparaître.

La conclusion à tirer de cette situation nous paraît évidente : si

important que soit l'élément fret dans l'industrie des phosphates, comme ses variations échappent absolument à notre action, c'est sur l'organisation et le fonctionnement des exploitations de phosphates que doivent se concentrer les efforts, afin de réduire à son minimum possible le prix de revient. C'est à aider l'initiative privée sous le triple rapport de la découverte, de la prise de possession, de l'exploitation commerciale des gisements, que doit viser la future législation sur les phosphates algériens. A cet égard, les États-Unis nous offrent des exemples qui ne devraient pas être perdus pour nous. On ne saurait douter, pour peu qu'on ait étudié le développement de l'industrie phosphatière aux États-Unis, que les gisements algériens eussent, depuis des années déjà, pris dans le commerce des phosphates la place qui leur revient par leur abondance et par leur richesse, si l'on eût appliqué dès l'origine à leur exploitation la législation libérale et l'esprit pratique que nos concurrents du nouveau monde ont mis au service de cette grande industrie, au progrès de laquelle est lié en grande partie l'avenir de l'agriculture continentale.

Si, depuis l'époque déjà lointaine (1884-1888) où, avec le désintéressement du vrai savant, M. Ph. Thomas a signalé à l'attention publique, au fur et à mesure de ses découvertes, les riches gisements phosphatés d'Algérie et de Tunisie, à laquelle son nom demeurera attaché, si, dis-je, encouragés et stimulés par les pouvoirs publics, les capitaux et l'activité d'industriels français s'étaient depuis douze ans portés de ce coté, l'Algérie aurait conquis dans le commerce des phosphates la place qu'il lui faut aujourd'hui disputer à l'Amérique. Mais il est temps encore de remettre les choses en état ; cela se peut, à la condition qu'au lieu d'aggraver par le vote du projet de loi du 18 janvier 1896 les dispositions du décret de 1895, si peu favorable déjà à l'essor de l'industrie phosphatière en Algérie, le Parlement, s'inspirant des mesures libérales de la législation américaine, assure à l'initiative privée la stabilité de ses entreprises et favorise les débouchés au lieu de les restreindre, comme à plaisir.

Ce n'est pas en limitant à dix ans le contrat par l'adjudication qui assurera le droit d'exploitation d'un gisement à une compagnie industrielle et en grevant de 2 fr. par tonne les minerais expor-

tables à l'étranger, qu'on engagera les capitaux considérables que nécessitent ces entreprises à se porter vers la colonie. J'insisterai plus loin sur ces deux points que je me borne à signaler : de leur rejet ou de leur adoption dépend entièrement l'avenir de l'industrie phosphatière en Algérie : voilà ce qu'on ne saurait trop affirmer. Pour que cette industrie prenne le développement quasi illimité qu'elle peut atteindre, il faut, d'une part, qu'elle arrive à abaisser, par tous les moyens pratiques, le prix de revient du phosphate industriel livrable dans un des ports d'Algérie ; cet abaissement implique, avec l'extraction de la masse la plus considérable possible de phosphate riche, la vente directe à l'agriculture du phosphate de titre moyen. Or, ces deux conditions essentielles ne peuvent être remplies qu'au prix d'installations coûteuses, de constructions de lignes de chemins de fer reliant les centres d'extraction aux ports d'embarquement etc., etc. Il faut enfin que les minerais à livrer à l'industrie du superphosphate en Angleterre, en Italie, en Allemagne, pays de grande consommation où n'existent pas de gisements de phosphate, ne soient pas grevés à leur sortie d'Algérie d'un droit de 2 fr. par tonne, comme le propose le projet de loi, soit de près de 10 p. 100 du prix de revient du phosphate dans un port algérien.

Je dis que nous avons profit à faire de ce qui se passe aux États-Unis, en ce qui regarde l'action des pouvoirs publics et l'organisation de cette grande industrie. Les Américains sont, comme on le sait, des industriels avant tout pratiques. Sans avoir recours à l'État, par la seule puissance de l'initiative privée qui, à vrai dire, n'est pas entravée, chez eux, par l'administration, ils ont créé un outillage des plus perfectionnés pour la mise en exploitation de leurs gisements. Ils ont successivement établi cinq ports nouveaux. Ils les ont reliés à leurs gisements par de nombreuses lignes de chemins de fer qui, non exploitées administrativement comme en France, mais avant tout, *commercialement,* transportent le minerai à bas prix. Dans les exploitations, ils ont concentré tous leurs efforts sur l'abaissement du prix de revient ; ils ont amélioré leurs procédés d'abatage et de broyage, en généralisant l'emploi de machines, en utilisant le travail à l'excavateur, etc.

De son côté, à l'encontre de ce qui se passerait en Algérie avec la

loi en projet, l'État américain encourage énergiquement l'extraction des phosphates aux États-Unis ; l'acte du 11 juin 1891 qui règle, en Floride, la législation de cette industrie, est très libéral. Il en est de même dans la Caroline du Sud, ainsi que le prouvent les faits suivants. Dans cet État, les minerais, quoique de très bonne qualité, sont sensiblement plus pauvres que ceux d'Algérie : ils ne dosent que de 57 à 61 p. 100 de phosphate. Les redevances payées à l'État par les exploitants des terrains domaniaux s'élevaient, en 1890, à près d'un million de francs (240 000 dollars). Dès 1893, à la suite de la baisse provoquée par le commencement d'exploitation des gisements d'Algérie, presque toutes les compagnies exploitantes de la Caroline fermèrent leurs chantiers d'extraction. M. Jones, inspecteur des phosphates de la Caroline du Sud, démontra, dans un rapport au gouvernement, que le produit des redevances avait passé de 240 000 dollars à 60 000. La redevance à l'État, qui était primitivement de 1 dollar par tonne, déjà réduite à 50 cents, fut abaissée à 25 cents, à la suite du rapport de M. Jones. Jusqu'en 1893, la Caroline du Sud exportait en Europe de 125 000 à 160 000 tonnes de phosphate, par année ; cette exportation ne dépasse pas 80 000 tonnes aujourd'hui. La richesse de nos minerais d'Algérie, supérieure de sept à huit pour cent à celle des minerais de la Caroline, peut donc leur permettre de prendre la place de ces derniers sur le marché européen.

La fabrication du superphosphate en France, se répartissant à peu près comme suit :

Région du Nord	190 000 tonnes.
Paris et région du Centre	320 000 —
Sud et Sud-Ouest	240 000 —

le marché du Sud et du Sud-Ouest, tout au moins, devrait appartenir au phosphate d'Algérie. De plus, le commerce des engrais prend en Italie une certaine ampleur. C'est l'Algérie encore qui devrait alimenter les ports de Gênes, de Venise, et, pour l'Autriche, ceux de Trieste et de Fiume.

Je suis convaincu, avec M. Chateau, que, si l'on n'entrave pas l'essor de son industrie, l'Algérie arrivera à prendre dans tous ces pays

une situation importante pour la vente de ses phosphates. Petit à petit, ses minerais doivent conquérir, dans le bassin de la Méditerranée, une sorte de monopole et se partager, avec les phosphates de la Floride, les demandes des fabricants du nord de l'Europe. Mais, pour cela, il faut résolument seconder l'initiative privée et substituer une loi libérale au décret du 12 octobre 1895.

Il me reste à présenter à ce sujet les observations que suggère la lecture attentive du projet de loi soumis en ce moment à l'examen et aux délibérations du Parlement et les modifications à lui faire subir dans l'intérêt de l'agriculture et de l'industrie de l'Algérie et de la France.

III

L'examen que nous avons fait de la remarquable étude de M. Chateau sur les phosphates d'Algérie a mis en évidence l'importance des gisements sous le double rapport de leur étendue et de leur richesse. Nous avons vu que ces gisements n'ont de comparables dans le monde que ceux de la Floride et nous sommes amenés à conclure à la possibilité, pour notre colonie, de concurrencer sur le marché européen les phosphates américains, au grand profit de l'Algérie, de l'industrie et de l'agriculture françaises. A quelles conditions cette possibilité peut-elle devenir une réalité? C'est le point essentiel qui reste à examiner.

La solution favorable de la question des phosphates algériens est tout entière entre les mains du Parlement. De la législation qui sortira de ses délibérations dépend, on peut dire absolument, l'avenir d'une industrie au sort de laquelle est étroitement liée la prospérité de notre colonie. On ne saurait trop mettre en lumière, pendan qu'il en est temps encore, l'évidence de cette vérité pour quiconque a fait de la question une étude approfondie.

Si le Parlement, abrogeant le décret du 12 octobre 1895, vote, sans la modifier radicalement, la loi dont le projet lui a été soumis le 18 janvier 1896, c'en est fait pour longtemps, et pour toujours peut-être, du développement de l'exploitation naissante des gise-

ments d'Algérie. Que les Chambres, au contraire, s'inspirant des nécessités de l'industrie, adoptent une législation libérale, aidant l'initiative privée au lieu de l'entraver, et donnent aux entreprises des garanties de stabilité indispensables à leur succès, la colonie prendra bientôt dans le commerce des phosphates la place que lui assignent ses richesses souterraines.

Je n'ai point la prétention d'opposer au projet de loi de 1896 une rédaction nouvelle; je laisserai ce soin aux membres du Parlement que j'aurais la bonne fortune d'amener à la conviction que le projet de 1896 est néfaste, son adoption équivalant à la condamnation anticipée de tout développement de l'industrie phosphatière en Algérie. Je bornerai donc l'examen critique du décret de 1895 et du projet de loi de 1896 aux points qui en indiquent l'esprit, en résument l'économie et dont l'adoption, à l'encontre des vues du législateur, tuerait dans l'œuf la poule aux œufs d'or.

La première remarque que suggère la lecture de ces documents est, comme l'a très justement fait observer M. l'ingénieur Chateau, que les commissions composées de fonctionnaires, qui ont préparé les projets de loi, semblent surtout avoir recherché l'intérêt de l'État, sans tenir compte des besoins industriels et des nécessités commerciales, et sans paraître se douter qu'une loi libérale peut seule permettre aux phosphatiers de soutenir la concurrence étrangère et de développer leur industrie, sans se ruiner.

Les rédacteurs du projet ignoraient, sans doute, totalement les conditions économiques du marché des phosphates ; ils se sont figuré que cette industrie devait donner des bénéfices considérables, et ils ont tâché de faire profiter le Trésor de ces gains imaginaires.

Les vices fondamentaux du projet de loi résultant des illusions de ses auteurs se résument à trois principaux :

1° L'adjudication comme seul moyen pour l'industrie d'acquérir le droit d'exploitation ;

2° La limitation de la durée de l'amodiation par la voie d'adjudication ;

3° La fixation, en dehors de la redevance qui fait l'objet de l'adjudication, d'un droit d'extraction de 2 fr. par tonne de phosphate expédiée ailleurs que dans la métropole.

Pour faire saisir combien ces dispositions du projet de loi sont graves et contraires au développement de l'industrie des phosphates en Algérie, il nous faut dire quelques mots de la loi du 21 avril 1810, concernant les mines, minières et carièrres, et du décret de 1895 qu'abrogerait la loi *en projet depuis deux ans*.

La loi de 1810, promulguée à une époque où l'existence des gisements de phosphates était complètement inconnue, range en trois catégories « les masses de substances minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre ou existant à la surface ». Tous les minerais métalliques, y compris le fer, en filons, couches ou amas, ainsi que la houille, l'alun et le sulfate d'alumine sont classés sous la rubrique mines. Les minerais de fer, les terres pyriteuses ou alumineuses et la tourbe forment une deuxième catégorie sous le nom de minières. Enfin, sont dénommés carrières les gisements de pierre à bâtir, pierre à plâtre, sable, kaolin, etc., etc. Le sel gemme, oublié par le législateur de 1810, a été classé dans les mines par la loi du 17 juin 1840.

La différence essentielle des mines, minières et carrières au point de vue de l'exploitant, réside en ceci : les mines et les minières, exploitées seulement par travaux souterrains, sont *concessibles*, c'est-à-dire deviennent la propriété perpétuelle de l'individu ou de la société en faveur desquels la concession a été accordée par l'État. Si l'inventeur d'une mine n'en obtient pas la concession, il lui est dû par le concessionnaire une indemnité fixée par l'acte de concession. L'exploitation d'une carrière à ciel ouvert ou en galeries souterraines ne donne lieu à aucune concession, elle peut se faire sans autorisation préalable : le propriétaire du terrain dans lequel se trouve une carrière peut disposer de celle-ci à son gré, le vendre, l'affermer, le louer, etc., sans aucune intervention étrangère.

Le droit pour celui qui découvre un gisement classé dans la première catégorie d'obtenir la concession de ce gisement ou, tout au moins, de recevoir une indemnité du concessionnaire, est un stimulant incontestable pour la recherche des gîtes métalliques ; il n'est, en tout cas, qu'une juste rémunération du savoir de l'inventeur et des sacrifices qu'il s'est imposés. En France, contrairement à l'équité et à la logique, il faut bien le dire, les gisements de phosphates en

masse ont été rangés dans les carrières et l'on s'est obstiné jusqu'ici à les maintenir dans cette catégorie. Leur inventeur n'a aucun droit à leur exploitation, aucune rémunération de ses peines à en attendre. L'occasion s'offre, par la découverte des gisements d'Algérie, de réparer cette double erreur; pourquoi ne la saisirait-on pas? Je n'ai pas rencontré jusqu'ici, de la part des hommes compétents, une seule objection sérieuse à cette addition à la loi de 1810.

Le phosphate de chaux est, ce semble, un minerai aussi précieux, sinon plus, que l'alun ou le sulfate d'alumine, sels métalliques auxquels on peut l'assimiler au point de vue légal : il y a pour le rendre concessible, condition qui soumet son exploitation à une surveillance destinée à empêcher le gaspillage peu redoutable pour la pierre à bâtir ou le sable, tout autant de raisons qu'on en peut invoquer pour le sel ou pour l'alun. Le gouvernement tunisien, en adoptant le système de la concession pour les immenses gisements de Gafsa, a donné un exemple dont l'Algérie devrait profiter.

Objecterait-on que les gisements de phosphates se rencontrent en Algérie dans des territoires divers au point de vue de la constitution de la propriété : terrains domaniaux, terrains de droit français, terrains melk, terrains arch ? Le principe de l'indemnité prévue par la loi de 1810, en faveur des propriétaires du sol dont le tréfond renferme des mines ne suffit-il pas à dédommager l'État, les communes, les douars ou les particuliers du dommage que pourraient leur causer les exploitations et même à les faire participer, sous une forme à étudier, aux bénéfices de cette exploitation ?

Si, laissant de côté cette grave question de la concessibilité des phosphates à laquelle on ne saurait trop accorder d'attention, nous revenons au projet de loi, voici ce que nous constatons : les gisements de phosphates algériens ne seraient classés ni dans la catégorie des mines, comme en Tunisie, ni dans celle des carrières comme en France. Le propriétaire des terrains dans lesquels ils se trouvent ne peut pas les exploiter, qu'il les ait découverts ou qu'un autre en ait signalé l'existence. On a créé pour ces gisements une catégorie, un régime de *carrières spéciales* pour emprunter le langage de l'exposé des motifs de la loi de 1896.

Quel est ce régime? le voici en deux mots: l'État se réserve le droit exclusif d'accorder des concessions par voies d'adjudication sur les terrains domaniaux, communaux ou indigènes, de droit collectif ou privé. Le décret de 1895 respectait les droits tréfonciers des propriétaires français en Algérie ; il récompensait l'inventeur du gisement en lui accordant le droit d'exploiter sans payer de redevance; le projet de loi de 1896 fait disparaître ces deux dispositions libérales. Bien mieux, il supprime la faculté que ce décret avait laissée à l'administration de concéder aux explorateurs un gisement de gré à gré, sans recourir à l'adjudication. L'inventeur n'a plus droit à rien et les colons ne pourraient plus disposer des phosphates contenus dans leurs propriétés de droit français. Cette inégalité de traitement avec le régime appliqué à la propriété en France s'expliquerait, suivant l'exposé des motifs, parce qu'on n'a pas à *respecter chez les propriétaires algériens des droits acquis!* Quel encouragement à la colonisation! Voilà une loi qui rangerait les phosphates d'Algérie dans le régime des carrières, en enlevant aux colons le droit qu'a en France tout propriétaire d'une carrière de l'exploiter à sa guise sans passer par l'adjudication. Il ne nous paraît pas possible qu'une pareille exception, si défavorable aux colons français, soit sanctionnée par le Parlement.

Du principe, passons à l'exécution : l'État, en possession du droit exclusif d'accorder des concessions, met l'exploitation des gisements aux enchères et limite à une période très courte, beaucoup trop courte, nous allons le voir, la durée du bail. Le chiffre de la redevance que le preneur s'engagera, par soumission cachetée, à payer, par tonne de phosphate extraite, décidera du choix de l'amodiataire. Sans se soucier ou plutôt, je le crois, sans se douter de la double nécessité, dans des travaux de mines de ce genre, d'y consacrer des capitaux considérables et d'avoir la sécurité du lendemain avant de les y engager, les rédacteurs du projet enlèvent à l'administration la possibilité de tenir compte aux industriels des sacrifices consentis par eux. On devra, coûte que coûte, procéder tous les dix ans à une nouvelle adjudication. L'article 6 du projet, il est vrai, dit qu'un décret rendu en la forme des règlements d'administration publique peut accorder, à titre exceptionnel et pour une durée qui ne pourra

excéder dix années, sans adjudication nouvelle, une prorogation de l'amodiation à l'amodiataire dont le bail serait sur le point d'expirer. L'article se termine ainsi : « Ce décret fixe la redevance à payer par tonne pendant cette prorogation : *In caudâ venenum.* » Quels seront les industriels qui pourront désirer user de cette faculté de prorogation ? Parfois celui qui aura réalisé quelques bénéfices pendant la durée de son bail, mais, le plus souvent, sans doute, celui qui, ayant engagé de gros capitaux dans son exploitation, verra arriver le moment de la récolte à l'instant même où expirera le contrat avec l'État. Or, n'est-il pas à craindre que le renouvellement, sans adjudication, ait pour corollaire l'augmentation de la redevance par tonne que devra fixer le décret ?

Les rédacteurs ne se sont certainement pas rendu compte de la situation de l'industrie des phosphates et pas davantage des conditions de succès des entreprises qui s'y rattachent. Ils se sont figuré qu'il existe un écart énorme entre les prix de production et les prix de vente : ils n'ont point réfléchi à l'importance des capitaux nécessaires pour l'exploitation de la mine, le traitement des minerais, la construction des voies ferrées, leur transport au lieu d'embarquement, etc..... En un mot, ils semblent avoir envisagé, avant tout, le côté fiscal de la question sans se demander si le régime bâtard imaginé par eux n'étoufferait pas, dans son germe, l'industrie naissante qui peut être pour l'Algérie une des causes trop rares, hélas ! de sa prospérité.

Mais il ne suffirait pas d'édicter un mode de concession ou de droit d'exploitation plus libéral, ni même d'étendre l'exercice de ce droit à une période beaucoup plus longue que celle prévue par le projet de loi, pour assurer la prospérité future de l'industrie des phosphates en Algérie et les bénéfices que la France doit en attendre pour son agriculture. Il faut rayer de la loi l'impôt de 2 fr. dont le projet grèverait le prix de revient de la tonne de phosphate exportée en tout pays autre que la France. Ce droit de 2 fr., dit l'exposé du projet, « n'a rien d'exagéré avec les bénéfices qui peuvent être réalisés dans ces exploitations ». Voyons ce qu'il en est de cette assertion.

Les évaluations les plus modérées portent à 20 fr. le coût de la

tonne de phosphate rendue à quai au port de Bougie. Le droit de 2 fr. correspond donc tout bonnement à 10 p. 100 du prix de revient. Cet impôt de 2 fr. s'appliquerait, comme la redevance résultant de l'adjudication à chaque tonne de phosphate brut, sans distinction de richesse des minerais en phosphate pur. Or, nous l'avons vu, la richesse des phosphates d'Algérie qui est, en moyenne, de 67 p. 100, varie entre 58 et 71 p. 100. Étant donné les cours actuels des phosphates sur les marchés européens, un impôt de 2 fr. par tonne, non seulement mettrait les phosphatiers dans l'impossibilité d'écouler les minerais à 60 p. 100, mais encore rendrait très difficile aux compagnies algériennes la vente de leurs phosphates 65/70 sur les marchés européens. En voulant percevoir des droits trop élevés, comme le dit M. Chateau, l'État menacerait de rendre impossible l'exploitation des phosphates en Algérie et courrait le risque de ne plus rien avoir à encaisser.

Quel est l'objectif à poursuivre? C'est, à coup sûr, de permettre à une industrie considérable de s'installer en Algérie dans des conditions qui lui permettent de prospérer. Comment l'atteindre? Par une législation libérale aidée dans son application du concours de l'administration à toutes les entreprises de l'initiative privée, se substituant aux tracasseries et aux incertitudes qui ont si malheureusement marqué ces dernières années.

La première préoccupation du législateur doit donc être d'encourager les colons français à exploiter les richesses minérales de leur sol, d'attirer en Algérie les hommes et les capitaux indispensables pour donner essor à l'industrie naissante qu'on semble avoir pris plaisir à entraver jusqu'ici.

Que le Parlement se pénètre de ces vérités et se hâte de mettre enfin à son ordre du jour, par un tour de faveur, la discussion d'un projet de loi déposé depuis bientôt deux ans à la Chambre des députés.

Les plus graves intérêts sont en suspens; il ne s'agit rien moins que de décider si les immenses richesses renfermées dans le sol algérien y demeureront enfouies ou si leur exploitation, à l'abri d'une législation libérale, nous rendra maîtres du marché européen, supprimant en même temps le tribut que nous payons au nouveau

monde pour la fertilisation de nos terres. Peu de questions semblent aussi dignes que celle-là du souci et de la sollicitude des pouvoirs publics.

IV

L'étude rapide que nous venons de faire de la question des phosphates algériens a pour objet principal de mettre en lumière l'urgence du vote d'une loi qui règle, sur des bases libérales, les conditions d'exploitation des gisements.

Rien, en effet, ne peut être plus funeste à une industrie naissante, surtout lorsque celle-ci exige des capitaux considérables, que l'incertitude du régime sous lequel elle se trouvera. Virtuellement abrogé par le dépôt du projet de loi de 1896, le décret du 12 octobre 1895 n'est plus appliqué ; le sort des anciennes concessions n'est pas réglé, il n'en est plus accordé de nouvelles et, finalement, l'exploitation très restreinte des richesses que renferme le sol algérien demeure stationnaire[1]. Cet état de choses voisin de l'anarchie ne saurait se prolonger plus longtemps sans compromettre gravement les intérêts les plus évidents de la colonie, de l'industrie et de l'agriculture françaises.

Mes lecteurs me permettront donc, après avoir montré combien seraient préjudiciables les dispositions du projet de loi du 21 janvier 1896, de préciser davantage encore les raisons majeures qui condamnent ce projet et d'indiquer les points essentiels que le législateur doit avoir en vue.

J'ai dit ma prédilection pour le régime de la concession substituée à l'amodiation par voie d'adjudication. En vain objecterait-on que placer les phosphates d'Algérie dans la catégorie des mines, établie par la loi de 1810, serait adopter pour notre colonie une législation différente de celle de la métropole. Cet argument est sans valeur,

1. Le tonnage de phosphate extrait en 1897 ne dépassera pas celui des années précédentes des quantités qu'il aurait pu atteindre par la mise en exploitation de nouveaux gisements. Les centres d'extraction de Tebessa ont produit 153 000 tonnes en 1896 ; ils fournirent en 1897 180 000 tonnes environ.

puisque le projet de loi du 21 janvier 1896, en rangeant les phosphates algériens dans la catégorie des carrières, comme cela existe en France, leur applique un régime tout différent de celui de la métropole. Disparate pour disparate, ne vaudrait-il pas mieux donner à l'Algérie le régime le plus favorable au développement de l'industrie phosphatière que de lui appliquer, sous le prétexte que les gisements de phosphate sont non des mines, mais des *carrières,* un régime beaucoup moins libéral que celui des carrières françaises? Les auteurs du projet de loi de 1896 paraissent avoir subordonné l'intérêt de l'industrie et de l'agriculture à ce qu'ils croient être l'intérêt budgétaire de la colonie ; voilà, je crois, l'erreur fondamentale qui a été le point de départ des dispositions que je combats. On a dû partir d'une idée fausse, répandue dans le public, au moment de la découverte des gisements de Tebessa, par des assertions plus enthousiastes que compétentes. Il s'agit de *milliards,* disait-on, à tirer de l'exploitation des phosphates algériens ; on ne saurait donc négliger de faire au budget algérien une large part dans les bénéfices que réaliseront les exploitants. De là, sans doute, la double mesure de l'adjudication au plus offrant et de la limitation à une courte période (dix ans au maximum) de la durée de l'amodiation.

Personne à coup sûr ne peut chiffrer la valeur vénale réelle de la masse de phosphate à extraire du sol algérien ; elle est sans doute très considérable, mais à des conditions essentiellement différentes de celles que le projet de loi propose de faire aux exploitants. Dans la situation tendue du marché des phosphates, la question du prix de revient prime toutes les autres et ce n'est pas le cas d'escompter le bénéfice que le gouvernement algérien pourra retirer de la concurrence dans les adjudications ; il faut voir bien plutôt les profits *indirects* à attendre d'une industrie largement assise, ayant devant elle la sécurité que seule peut donner une longue possession du droit d'exploiter et l'assurance de l'emploi fructueux des capitaux considérables qu'il lui faudra engager. Ces profits indirects sont nombreux : ils résulteront d'abord de la masse de bras nécessaires à cette industrie, le jour où elle pourrait exploiter annuellement les 1 200 000 ou 1 500 000 tonnes de phosphate dès à présent disponibles ; en second lieu, de l'augmentation du trafic par voies ferrées

qui viendra diminuer les garanties d'intérêt très élevées que l'État sert chaque année aux chemins de fer algériens, lorsque par l'abaissement des tarifs les transports des phosphates seront plus abordables et plus commerciaux. Enfin, notre marine marchande, qui manque de fret, trouverait là une alimentation qu'on assurerait certainement en décidant, par exemple, que seront seuls exempts des droits de sortie les phosphates naviguant sous pavillon français.

Ces profits indirects, cela ne semble pas douteux, seraient plus avantageux pour la colonie que le produit des redevances résultant de l'amodiation aux enchères de quelques centres d'exploitation. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que, contrairement à ce que semblent implicitement admettre les auteurs du projet de loi, l'exploitation des gisements de phosphate ne saurait se multiplier pour ainsi dire à l'infini, comme celle des carrières ordinaires : pierre à bâtir, pierre à chaux, etc... Leur nombre sera forcément restreint pour de nombreuses raisons sur lesquelles il n'est peut-être pas inutile d'insister, et qui toutes aboutissent à démontrer la nécessité pour cette industrie de disposer d'un gros capital.

Deux points doivent être particulièrement envisagés, savoir: 1° la richesse variable des phosphates d'un même gisement, d'où dépendent le traitement à leur faire subir et leur utilisation par l'industrie ou par l'agriculture ; 2° le transport des phosphates aux centres d'expéditions. Examinons-les avec quelque détail.

Les analyses déjà nombreuses qu'on a faites des minerais d'Algérie ont montré que leur richesse en phosphate tribasique de chaux varie de 55 à 73 p. 100, leur teneur en carbonate de chaux allant de 20 à 40 p. 100. Ces phosphates sont pauvres en silice, en alumine et en sesquioxyde de fer et de magnésie ; ils sont, par conséquent, très propres à être transformés en superphosphates. Notons tout de suite qu'étant donnée la baisse énorme des phosphates, dont la valeur vénale a, depuis cinq ans, diminué de près de 50 p. 100, les minerais titrant moins de 60 p. 100 de phosphate réel ne peuvent aborder le marché européen, en vue de leur transformation en superphosphate. On ne saurait trop insister sur ce point et le préciser. Aux cours pratiqués actuellement, le prix de l'unité de phosphate d'une teneur de 55 à 60 et même 65 p. 100 est de 0 fr. 50 c., ce

qui représente, pour un minerai titrant 60 p. 100, une valeur dans un port d'Europe de 30 fr. la tonne. Or, nous avons vu que les chiffres réunis avec beaucoup de soin par M. Chateau conduisent précisément à fixer le *prix de revient* de la tonne de phosphate algérien (fret compris jusqu'à un port d'Europe) entre 30 et 31 fr. 50 c. la tonne. A moins donc, ce qui est peu probable, que les prix des phosphates bruts se relèvent sensiblement, le marché algérien ne peut pas compter exporter des minerais dosant 60 p. 100 et *à fortiori* des phosphates à titre inférieur à celui-là. Nous aurons à examiner le parti à tirer de ces phosphates peu riches. Les phosphates d'Amérique titrant 65 à 70 p. 100, valent actuellement de 0 fr. 691 à 0 fr. 721 l'unité de phosphate pur, dans un port européen[1]. A ce compte, la tonne de phosphate algérien, d'un titre moyen de 67 p. 100, vaudrait environ 46 fr. En admettant que les minerais de 63 à 67 trouvent seulement leur placement à raison de 0 fr. 60 c. l'unité, la valeur de la tonne serait encore de 38 à 40 fr.

La situation se résume donc ainsi : tous les phosphates à un titre égal ou inférieur à 60 p. 100 ne peuvent pas actuellement être exportés tels quels; les minerais de 63 à 67 p. 100 et au delà trouveront preneurs sur le marché européen à des prix rémunérateurs.

La première condition qui s'impose à l'exploitant algérien est dans le triage, au lieu même d'extraction, des phosphates de richesse inégale; la seconde est la recherche des meilleurs moyens de tirer parti des phosphates d'un titre inférieur à 63 p. 100 qu'on ne pourrait, sans un véritable gaspillage, abandonner sur le carreau de la mine, comme on le fait des débris de pierre dans les carrières ordinaires. Suivant la richesse des couches exploitables, ce triage fournira des quantités très inégales de phosphates bruts à exporter et de phosphates à traiter ou à employer en Algérie. Trois moyens se présentent pour l'utilisation de ces minerais à titre inférieur : 1° l'enrichissement du phosphate par lavage ou ventilation ; 2° leur transformation sur place en superphosphates ; 3° leur emploi direct par

1. Journal *l'Engrais* du 17 décembre. Valeur de l'unité, 5 deniers 1/2 à 5 deniers 3/4.

la culture algérienne. Les deux premiers procédés nécessitent des installations et des frais de manipulation qui justifient encore ce que nous avons dit précédemment de la nécessité d'une mise de fonds considérable ; j'y reviendrai dans un instant. Quant à l'emploi agricole des phosphates bruts moulus, on n'est pas encore fixé. Quelques essais de laboratoire, cultures en pot, etc... sembleraient indiquer que l'assimilabilité de ces phosphates par les plantes est faible, mais des expériences en rase campagne, bien conduites, sont nécessaires pour résoudre la question. *A priori,* d'après la composition des sols d'Algérie, dont la plus grande partie manque à la fois de chaux et d'acide phosphorique, je suis porté à penser que les phosphates de Tebessa, riches en calcaire, très finement moulus, devront donner de notables accroissements de rendement ; mais, je le répète, les hypothèses les plus rationnelles ne suffisent pas ; il faut que l'expérience se prononce sur leur valeur. A mon instigation et sur mes conseils, plusieurs propriétaires algériens et tunisiens ont entrepris, cette année, des essais de phosphatage de leur terre dont les résultats nous édifieront sur la valeur agricole des phosphates bruts de Tébessa.

Si les phosphates naturels ne peuvent être utilement employés par les cultivateurs algériens, les exploitants de cette précieuse matière devront, dans un délai prochain, arriver à les transformer sur place en superphosphate, car il n'est pas admissible qu'on laisse inutilisée la masse à coup sûr considérable de phosphate dont le titre ne permettrait pas l'exportation. Il faut donc, d'ores et déjà, envisager la création d'usines à superphosphates, c'est-à-dire la fabrication d'acide sulfurique sur le territoire algérien, car cette matière première de l'industrie phosphatière ne semble pas pouvoir être importée d'Europe à raison des frais et des difficultés de transport jusqu'au siège des gisements de phosphates. Les pyrites d'Espagne et le soufre de Sicile sont les sources auxquelles on pourrait économiquement s'adresser pour la production de l'acide sulfurique.

La fabrication du superphosphate trouverait aussi des débouchés en Italie et en Espagne où ce produit pourrait concurrencer avantageusement les superphosphates continentaux.

Aux dépenses qu'entraînera la création d'usines à superphosphates,

il faut ajouter, dans les prévisions des frais de premier établissement d'un gisement, le coût des voies ferrées indispensables au plus grand nombre des futures exploitations.

Dans son étude si intéressante, M. l'ingénieur Chateau énumère les gisements exploitables, géologiquement parlant, dans la province de Constantine. Il en compte six dans l'est ou sur la frontière tunisienne ; quatre dans le centre de la province ; sept dans l'ouest de Sétif ; deux sur les territoires de Bordj-Rédir et de Tocqueville ; un, enfin, entre le Djebel-Soubella et le Djebel-Tassa ; au total, dix-sept gisements qui, dans un avenir plus ou moins prochain, pourront être mis en exploitation, si une législation libérale et intelligente vient donner à l'industrie naissante l'essor qui en dépend pour la plus large part.

Les deux tiers environ de ces gisements peuvent être réunis aux voies ferrées existantes par la construction de raccordements d'une faible longueur, 25 kilomètres au maximum pour les plus éloignés. Les autres gites phosphatés sont situés à des distances du chemin de fer algérien variant de 30 à 80 kilomètres. L'établissement de ces raccordements étant une question *sine qua non* de possibilité d'exploitation des phosphates, on voit à quelle dépense seront nécessairement conduits les concessionnaires ou les amodiataires de gisements. On ne peut guère penser, en effet, que le gouvernement général d'Algérie, pas plus que les compagnies de chemins de fer, prendront à leur charge la construction de ces raccordements. Le doublement des voies existantes qui s'imposera absolument, si l'on veut rendre viable l'industrie phosphatière, sera sans doute le maximum d'efforts qu'on puisse obtenir de la colonie et des compagnies de chemins de fer.

De tout cela résulte que l'exploitation des phosphates algériens ne pourra se faire qu'avec des avances de fonds très considérables, dont seront seules capables des sociétés financières fortement constituées, les petites exploitations par des individus isolés étant rendues absolument impossibles par l'importance des capitaux qu'exigent l'extraction, le traitement, l'installation de fabriques de superphosphates et l'établissement des voies de transport des produits jusqu'au port d'embarquement et, dans l'intérieur de l'Algérie même, jus-

qu'aux lieux où phosphates bruts et superphosphates seraient employés par l'agriculture algérienne.

Il faut donc que la loi votée par le Parlement tienne compte de ces considérations et qu'elle ait pour visée principale, presque unique, d'attirer, par les mesures libérales qu'elle édictera, les capitaux indispensables au succès des entreprises qu'elle a pour objet de provoquer et d'encourager.

Si le principe de la concession pure et simple est repoussé, il faut, en tout cas, que de très longs baux, écartant les chances d'adjudications répétées à courtes périodes, donnent une sécurité absolue aux capitaux. Il faut, en outre, que la redevance à payer à l'État soit aussi modérée que possible; que le droit de sortie soit faible, 0 fr. 50 c. par tonne par exemple, avec suppression de ce droit pour les phosphates exportés sous pavillon français.

Il est de toute *nécessité* de ne frapper d'aucun droit supérieur à 0 fr. 50 c. par tonne les phosphates destinés à l'exportation vers les ports européens; agir autrement, infliger un droit de 2 fr. comme le propose le projet de loi de 1896, c'est donner une prime à la concurrence des phosphates d'Amérique et rendre presque impossible la lutte de l'Algérie contre la Floride.

Il faut enfin améliorer les voies ferrées existantes qui, actuellement, ne peuvent transporter que la dixième partie du phosphate que l'Algérie pourrait livrer chaque année à l'industrie. Il dépend du Parlement d'imprimer, par le vote d'une loi libérale, un essor immense à l'utilisation des richesses du sol algérien et d'assurer à notre colonie la prédominance sur le marché européen. Espérons qu'il en sera ainsi et, cela, le plus tôt possible.

J'emprunte à l'excellente étude de M. l'ingénieur Chateau les tableaux statistiques relatifs au fret et aux cours des phosphates bruts au commencement de l'année 1897. On trouvera à la suite de ces tableaux le texte du projet de loi du 18 janvier 1896 et celui du décret du 12 octobre 1895.

ANNEXES.

V. — ANNEXES.

ANNEXE N° 1.

Statistique des Frets pour phosphate brut expédié de la Floride et de l'Algérie dans les ports de la Baltique.

1895.				1896.			
VAPEURS.	TONNES.	LIEUX de chargement.	FRETS payés.	VAPEURS.	TONNES.	LIEUX de chargement.	FRETS payés.
Stettin.							
Hartville	1 650	Punta Gorda.	18/-	*Carl Hirschberg.*	1 750	Bône	9/9
Sir Wm Amstrong.	2 200	Brunswick. .	18/9	*Ennismore* . . .	1 500	—	9/6
Cordova	2 871	Punta Gorda.	17/6	*Novah*	1 950	—	9/-
Orsino.	1 590	Fernandina .	17/6	*Barrai'ough.* . .	2 127	Dales Crak. .	15/6
Roikiliff	3 100	— .	16/9	*Oaklands*	2 459	Fernandina .	16/9
Springfield. . . .	2 750	— .	19/-	*Roikklif*	2 162	— .	16/10 1/2
Hypatra	1 997	Brunswick. .	18/6	*Ben Clune* . . .	2 550	— .	16/-
Springfield. . . .	2 750	Fernandina .	19/-	*Renfrew*	2 795	— .	17/6
Britannio	1 490	Savannah . .	16-6	*Durham City* . .	2 200	— .	17/6
Birdoswald . . .	3 000	Port Tampa .	19/6	*Mab*	2 082	Port Tampa .	19/6
Inverness	1 449	Savannah . .	15/-	*Ruabon.*	2 673	Bône	8/9
Birdoswald . . .	2 826	Port Tampa .	19/6	*Glanhafren* . . .	2 650	Fernandina .	13/9
Macedonia. . . .	1 955	Fernandina .	17/9		450		15/-
David Mainland .	2 525	— .	17/3	*Marima.*	2 168	Brunswick. .	15/-
Henriette H . . .	2 688	— .	17/-	*Ben Corlio* . . .	2 537	Fernandina .	15/9
Tynedale	2 910	Port Tampa .	19/-	*North Flint* . . .	2 720	— .	16/6
Mab.	2 750	Fernandina .	17/6	*Lovstakken* . . .	3 300	— .	16/-
City of Newcastle.	2 700	— .	17/6	*Jane Kelsall* . .	2 489	Port Tampa .	17/6
Stuart Prince . .	1 900	Port Tampa .	19/-	*Rjukan.*	2 329	Fernandina .	19/6
Clintonie.	2 472	— .	18/9	*Ranmoor*	2 752	Brunswick. .	19/3
Nymphea.	2 300	Fernandina .	18/6	*Ragna*	2 000	Bône	8/3
Bothal.	2 414	Port Tampa .	19/-	*Bothal*	2 470	Brunswick. .	25/-
				Atthalie	2 697	Port Tampa .	20-6
				Liebenstein . . .	1 000	Bône	12/-

Les vapeurs affrétés à Tampa à la date du 31 décembre 1896 ne sont pas compris dans ce qui précède.

Danzig.							
Annendale. . . .	»	Fernandina .	18/-	*Dunmore Head* .	»	Fernandina .	17/-
				Vésuv	»	Bône	11/6
Memel.							
Vannghar	»	Florida . . .	18/3-17/9	*Niovsian*	1 550	Fernandina .	18/4 1/2
				Hallamshire . .	1 450	— .	23/6
Ports en dehors de l'Allemagne.							
				HELSINGBORG. . .	*Lemgo*	»	Port Tampa .	17/-
				— . . .	*North-Goalia* . .	»	— .	17/6
				— . . .	*Stalheim*	»	— .	18/3
				STOCKHOLM. . . .	*Ciburnum.*	»	— .	18/-
				LANDSORONA . . .	*Langoe*	»	— .	14/-
				— . . .	*Virginia*	»	— .	22/6

Le tout en shillings sterling à la tonne.

ANNEXE N° 2.

Cours du 28 avril 1897.

DÉSIGNATION DE LA PROVENANCE.	LIEUX de livraison.	GARANTIE fer et alumine.	DISPONIBLE.	LIVRABLE.
		p. 100		
PHOSPHATES DE LA SOMME.				
Non lavés.				
Dosant de 75 à 80 p. 100 de phosphate de chaux.	Doullens.	2	» 70	» 70
— 70 à 75 —		2 1/2	» 60	» 60
— 65 à 70 —	Auxi-le-Château	4	» 55	» 55
— 60 à 65 —		5	» 50	» 50
— 55 à 60 —	Péronne.	Sans garantie.	» 45	» 45
— 50 à 55 —		—	» 40	» 40
— 45 à 50 —			» 35	» 35
— 40 à 45 —	Environs	2	» 30	» 30
Lavés.	de	3		
Dosant de 70 à 75 p. 100 de phosphate de chaux.	Saint-Quentin	3 1/2 à 4	» 60	» 60
— 65 à 70 —	ou parités.	5	» 55	» 55
— 60 à 65 —			» 50	» 50
— 55 à 60 —			» 45	» 45
(Prix à l'unité de phosphate par 1 000 kilogr.)				
CRAIES PHOSPHATÉES LAVÉES.				
Dosant de 60 à 65 p. 100 de phosphate de chaux.			» 52	» 52
— 55 à 60 —	Sur bateau		» 46	» 46
— 50 à 55 —	Canal		» 38	» 38
— 48 à 52 —	de la Somme	1 1/2 à 2	» 36	» 36
— 45 à 50 —	ou de		» 34	» 34
— 42 à 45 —	Saint-Quentin.		» 32	» 32
— 40 à 45 —			» 30	» 30
(Prix à l'unité de phosphate par 1 000 kilogr.)				
PHOSPHATES DU CANADA.				
Dosant de 80 à 85 p. 100 de phosphate de chaux.		2	1 »	1 »
(Prix à l'unité de phosphate par 1 000 kilogr.)				
PHOSPHATES DE CAROLINE.	Ports d'Europe.			
55 à 60 roche de rivière, en vrac		3	5d 1/2	5d 1/2
55 à 60 roche de terre, l'unité par 1 000 kilogr. .			5 1/2	5 1/2

ANNEXE N° 2 (*suite*).

Cours du 28 avril 1897 (*suite*).

DÉSIGNATION DE LA PROVENANCE.	LIEUX de livraison.	GARANTIE fer et alumine.	DISPONIBLE.	LIVRABLE.
		p. 100		
PHOSPHATES DE LA FLORIDE.				
Dosant de 75 à 85 p. 100 de phosphate de chaux.	Ports d'Europe.	3	6d3/4	6d3/4
— 55 à 65 p. 100 de rivière		3	5 3/4	5 3/4
(Prix à l'unité de phosphate par 1 000 kilogr.)				
PHOSPHATES ALGÉRIENS. (Province de Constantine)				
Dosant de 58 à 63 p. 100	Ports Bayonne à Dunkerque.	2	» 55	» 55
— 63 à 70 p. 100			» 60	» 60
— 58 à 63 p. 100	Ports de la Méditerranée.	2	» 55	» 55
— 63 à 70 p. 100			» 60	» 60
— 58 à 63 p. 100	Royaume-Uni.	2	5d1/2	5d1/2
— 63 à 70 p. 100			5 3/4	5 3/4
— 58 à 63 p. 100	Ports du continent.	2	5 1/2	5 1/2
— 63 à 70 p. 100			5 3/4	5 3/4
PHOSPHATES DE LIÈGE.				
Dosant de 65 à 70 p. 100 de phosphate de chaux.	Liège Rocour ou parité.	»	» 65	» 65
— 60 à 65 —		2 1/2	» 60	» 60
— 60 à 65 —		3 1/2	» 52	» 52
— 55 à 60 —		3 1/2	» 50	» 50
— 50 à 55 —		4	» 40	» 40
— 45 à 50 —		Sans garantie.	» 25	» 25
(Prix à l'unité de phosphate par 1 000 kilogr.)		—	12 50	12 50
Dosant de 40 à 45 p. 100 prix par 1 000 kilogr.				
PHOSPHATES DE MONS.				
Craie lavée de 40 à 45 p. 100 de phosphate de chaux.	Mons.	1 2/5	» 33	» 33
— 45 à 50 —	Ciply.	2	» 40	» 40
(Prix à l'unité de 50 à 55 par 1 000 kilogr.) . . .		»	» 42	» 42
— 55 à 60 — . . .		»	» 45	» 45

ANNEXE N° 3.

Projet de loi sur l'exploitation des phosphates de chaux en couches situés en Algérie

Présenté au nom de M. Félix Faure, *Président de la République française*, par M. Léon Bourgeois, *Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur*, par M. Paul Doumer, *Ministre des Finances*, par M. Guyot-Dessaigne, *Ministre des Travaux publics*, et par M. Viger, *Ministre de l'Agriculture*.

Exposé des motifs.

Messieurs,

Conformément à l'engagement pris par le Gouvernement dans la séance de la Chambre des députés du 24 décembre dernier, nous venons vous présenter le projet de loi qui nous a paru pouvoir régler les conditions de l'exploitation des phosphates de chaux en Algérie.

Comment ces gîtes ont été découverts, comment leur exploitation a débuté, quels incidents et quelles difficultés elle a soulevés, comment le Gouvernement a cherché à les résoudre provisoirement par le décret du 12 octobre 1895, ce sont des questions sur lesquelles il nous paraît inutile de revenir ; les diverses discussions qui ont eu lieu dans le Parlement les ont suffisamment élucidées. Mais il ne sera pas inopportun de rappeler les motifs, invoqués déjà par le Gouvernement dans la dernière discussion devant la Chambre, qui expliquent et justifient la législation spéciale que nous vous proposons et qui en doivent constituer les bases.

« Une législation particulière est ici nécessaire », faisions-nous observer dans cette discussion, « parce qu'elle doit être appliquée à un pays différent de la métropole par la nature de son sol et par l'état de civilisation de ses habitants. Il n'est pas possible d'appliquer d'une manière mécanique, pour ainsi dire, la législation française aux territoires algériens ».

Les mêmes idées avaient déjà inspiré la préparation du décret du 12 octobre 1895. On s'y était efforcé de ne modifier la loi métro-

politaine — qu'il y a toujours intérêt à suivre en Algérie lorsqu'on le peut — que dans celles de ses dispositions qui ressortaient comme incompatibles avec les conditions spéciales à l'Algérie. Aussi bien le Gouvernement a déjà fait connaître qu'il pensait devoir maintenir comme base de la législation projetée l'économie générale de ce décret, sauf à le modifier sur divers points, en ce qui concerne notamment l'extraction et les redevances et en cherchant, en outre, à étendre aux agriculteurs français les avantages qui n'étaient accordés par le décret, et sur une échelle très réduite, qu'aux agriculteurs algériens.

Il y a trois points sur lesquels le projet de loi diffère du décret du 12 octobre 1895 et dont l'importance nécessite que nous nous y arrêtions tout d'abord.

Le décret avait laissé de côté les terrains qui sont actuellement des propriétés constituées au titre français entre les mains de personnes privées. Nous ne méconnaissons pas les motifs de droit qui avaient conduit à faire une distinction entre ces terrains et ceux appartenant à des collectivités administratives ou relevant du droit musulman. Mais il ne faut pas perdre de vue que les phosphates en couches, dont la découverte a suscité une si légitime émotion, ont été reconnus depuis trop peu de temps en Algérie pour que des transactions sérieuses aient pu être faites, en vue de leur exploitation, sur des terrains de propriété privée suivant le droit français : de pareilles propriétés existent à peine dans les régions à phosphates. Le législateur peut donc séparer les phosphates de la propriété du sol en Algérie pour en rendre l'exploitation plus utile aux intérêts publics, sans être arrêté par cette question des droits acquis qui, dans la métropole, n'a pas laissé de contribuer puissamment à faire classer les phosphates dans les carrières. Aussi bien la dévolution des « redevances tréfoncières » faite par l'article 13 aux propriétaires superficiaires paraîtra, dans l'espèce, une large compensation à la perte d'espérances qu'ils auraient pu entrevoir plus que de droits acquis dont ils auraient pu se croire réellement investis.

D'autre part, il y a lieu de remarquer que si l'on rencontre dans la métropole des phosphates de chaux en couches, ces couches n'ont jamais présenté, jusqu'ici, la richesse, la puissance et l'étendue de

celles du Sud Algérien. C'est pourquoi aussi — et c'est la seconde différence entre la loi et le décret du 12 octobre 1895 — le projet que nous vous soumettons ne s'applique qu'aux phosphates en couches, tels que ceux de Tébessa. Il y a deux autres catégories de gîtes de phosphates connus en Algérie : les uns se rencontrent, notamment aux environs d'Orléansville, dans les grottes où ils forment des terres phosphatées de basse teneur en phosphate, mais contenant aussi de l'azote ; les autres, près de la frontière du Maroc, forment des poches de phosphorites très pures mais en très faibles masses. Les uns et les autres sont très limités, sans importance industrielle actuelle, et paraissant sans avenir. Le régime du présent projet ne donnerait ici que des complications sans utilité pratique ; il aurait plus d'inconvénients que d'avantages.

Il nous reste à définir le caractère juridique fondamental du projet.

Comme nous venons de le dire, il détache de la propriété superficiaire les gîtes de phosphates de chaux en couches, dans tous les terrains où ils peuvent se trouver ; mais de cette séparation il ne résulte pas que les phosphates doivent être classés dans les mines. Les mines, dans notre droit français, ne sont pas seulement caractérisées par leur séparation de la propriété superficiaire, mais encore et surtout par tout un régime que définit une législation spéciale pour le mode d'institution des concessions et la nature de leur propriété perpétuelle entraînant pour le concessionnaire des obligations et des droits particuliers. Il a été reconnu que ce régime était incompatible avec l'allure et la nature des gîtes de phosphates algériens et le décret du 12 octobre 1895 a très judicieusement établi celui qui convenait aux conditions de l'espèce. Ce régime est, en fait, un régime de carrières, mais de carrières spéciales : c'est ce que le projet de loi admet et établit nettement par les articles 1 et 14. Il en résulte donc que les gîtes de phosphates de chaux en couches, dans quelque terrain qu'ils se trouvent placés, deviennent des carrières domaniales, mais des carrières dont le régime normal, à ce titre, se trouve modifié par les dispositions de la loi dont il nous reste maintenant à expliquer les détails dans l'ordre de ses articles.

Nous n'avons pas à revenir sur l'article 1er dont nous venons

d'expliquer l'importance et la portée par sa combinaison avec l'article 14.

L'article 2 relatif aux recherches ne fait que reproduire l'article 6 du décret, sauf les modifications du dernier paragraphe. Avant d'en parler, nous devons rappeler que de pareilles recherches seront généralement indispensables. Ce qui reste inconnu pour le développement de l'exploitation des phosphates algériens, c'est une question de teneur. On sait parfaitement aujourd'hui les localités où se trouve leur niveau géologique. Ces recherches par galeries ou puits peuvent seules permettre de s'assurer si, en profondeur, la couche est exploitable nonobstant l'insuffisance de teneur de l'affleurement.

Le dernier paragraphe vise la procédure à suivre pour l'occupation des terrains nécessaires à l'exécution des travaux et l'indemnité à payer pour cette occupation. On s'est borné à poser le principe d'une indemnité « aux intéressés » sans autrement préciser dans les termes, à raison de la multiplicité des cas qui peuvent se présenter suivant que l'on se trouve en terrains domaniaux, départementaux, communaux, en terrains melk ou arch, ou en terrains de droit français. Il peut y avoir en cause le propriétaire pour ces terrains et éventuellement son fermier ; l'usager ou l'arabe simple détenteur dans les terrains de droit musulman. Pour être complexe en fait, la question n'en est pas moine analogue à toutes celles de cette nature qui peuvent se présenter pour d'autres occupations semblables. Ce sont des questions de jurisprudence algérienne dont il suffit que la loi indique le principe.

Les articles 3, 4, 5, 6 et 7 reproduisent en principe les dispositions fondamentales du décret du 12 octobre sur les amodiations et leur procédure, sauf une différence de fond et quelques modifications de forme.

Au fond on a cru devoir supprimer la faculté donnée à l'administration d'attribuer une amodiation sans adjudication à l'inventeur. Il a semblé que l'inventeur trouverait une rémunération suffisante dans des indications qu'il sera seul à connaître et qui lui donneront un avantage marqué sur ses concurrents à l'adjudication. On peut donc compter que les recherches auront lieu nonobstant la suppression de cette clause.

On a réduit à la durée de dix ans la faculté de prorogation sans adjudication de l'article 6.

L'article 8 met dans la loi même l'ensemble des obligations que l'article 2 du décret, dans la seconde partie, proposait d'insérer dans chaque cahier des charges. Cette solution, qui aboutit au même résultat, est à la fois plus sûre et plus simple.

Au paragraphe 6 de cet article se présente une question de règlement d'indemnité « aux intéressés » de même ordre que celle ci-dessus discutée à l'occasion de l'article 2.

Un paragraphe 7 nouveau permettra l'établissement des voies extérieures dans des conditions plus pratiques que celles que prévoyait l'article 11 du décret.

L'article 9 ne se trouvait pas dans le décret. On l'a mis dans la loi à cause des différences entre celle-ci et celui-là. La loi met tous les phosphates dans les mains de l'État ; elle lui en attribue la propriété, qui est légalement et définitivement détachée de celle du sol. Il serait toutefois inadmissible, et nul ne voudrait admettre qu'un cultivateur ne pût bénéficier, pour amender son champ, d'une marne phosphatée, alors qu'elle ne sera pas exploitable industriellement et que la propriété ne serait pas comprise dans les limites d'une exploitation. Légalement il ne le pourrait cependant pas, puisque les phosphates sont la propriété de l'État. Penserait-on vider ce conflit incessant et continu par une distinction fondée sur l'exploitation industrielle du produit ? On ne ferait que déplacer la difficulté sans la résoudre ni même l'atténuer. L'exploitabilité industrielle est et restera incessamment variable suivant les lieux et les époques.

La solution proposée par l'article 9 est une transaction de nature à concilier partout et en tout temps les intérêts en présence. Dans les termes indiqués, l'application ne soulèvera pas de difficultés. Il n'y a pas là d'ailleurs une véritable innovation. L'idée est empruntée aux minières de minerai de fer que notre législation attribue aux propriétaires du sol, même en terrains concédés à un autre. Entre ce régime des minières et celui des phosphatières de l'article 9, il y aura deux différences importantes qui feront disparaître pour les phosphatières les difficultés incontestables que soulève la pratique des minières et qui auraient été encore plus grandes pour les phos-

phatières en territoires arabes; le cultivateur même, en terrains non amodiés, ne peut se servir des phosphates que pour l'usage immédiat de la culture sur place; tout trafic lui en est interdit; ce n'est pas une propriété qui lui est attribuée comme avec la minière; c'est un simple droit d'usage parfaitement défini et limité.

En terrains explorés ou amodiés, ce droit ne pourra s'exercer que par des travaux exclusivement à ciel ouvert, comme pour la minière située sur l'affleurement d'un gîte de minerai de fer concédé en profondeur. Ce dualisme n'amènera pas de complications, par suite des conditions dans lesquelles l'administration pourra arrêter la phosphatière du superficiaire, s'il en est besoin, pour assurer l'exploitation de l'amodiataire de l'État.

L'article 10, après l'addition faite à l'article 8, paragraphe 7, pour les voies extérieures, pouvait se borner à garder les servitudes d'aérage et d'écoulement d'eaux, en en réglant les détails avec plus de précision que ne le faisait l'article 12 du décret du 12 octobre 1895.

L'article 11 est un simple article d'ordre qui reproduit la partie utile de l'article 15 du décret du 12 octobre 1895. On aurait pu à la rigueur se dispenser de cette reproduction, puisqu'au fond l'article ne stipule d'obligations que pour l'administration supérieure; mais à ce titre il reste utile.

Dès l'instant que le droit d'extraction établi par l'article 12 ne doit pas être perçu sur les phosphates consommés en France ou en Algérie, on pouvait, sans inconvénient, relever ce droit de 0 fr. 50 c. à 2 fr. et ce taux n'a rien d'exagéré avec les bénéfices qui peuvent être réalisés dans ces exploitations.

Nous avons déjà expliqué les motifs généraux qui doivent conduire l'État à la dévolution faite par l'article 13 d'une partie des redevances résultant des adjudications pour les terrains autres que les terrains domaniaux. Il n'a pas paru, d'autre part, que l'on pût régir différemment les diverses sortes de terrains. Ils sont tous traités également sous réserve de la question de savoir quel sera l'attributaire définitif de la redevance suivant la nature juridique des terres; le propriétaire dans les terrains soit de droit français, soit melk; le détenteur dans les terres arch. Le règlement d'administration

publique prévu à l'article 16 règlera le mode d'attribution d'après le principe relativement simple de la loi, pratiqué notamment en Belgique pour les redevances tréfoncières de mines, à savoir la répartition au prorata des surfaces, au lieu du système d'attribution faite par l'article 11 du décret à chaque propriétaire sous les terrains duquel on eût exploité ; on aurait été conduit ainsi à des difficultés inextricables.

Nous avons précédemment expliqué toute l'importance de l'article 14 qui était nécessaire pour achever de définir le caractère juridique de ces exploitations, de ces carrières domaniales d'une espèce particulière.

L'article 15 s'explique de lui-même. La loi ne pouvait tout régler sans descendre dans des détails qui auraient retardé sa promulgation et obscurci ses principes.

Il nous a paru inutile de dire explicitement dans la loi que le décret du 12 octobre 1895 était abrogé ; cela va de soi.

Projet de loi.

Le Président de la République française

Décrète :

Le projet de loi dont la teneur suit sera présenté à la Chambre des députés par le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur, les ministres des Finances, des Travaux publics, de l'Agriculture, qui sont chargés d'en exposer les motifs et d'en soutenir la discussion.

Article premier. — La recherche et l'exploitation des phosphates de chaux en couches, situés en Algérie, seront soumises aux règles suivantes.

Art. 2. — Des recherches peuvent être autorisées pour une durée de un an par arrêté du Gouverneur général rendu sur l'avis des Ingénieurs des Mines.

L'autorisation assure à son titulaire le droit exclusif de faire des recherches dans les limites qu'elle indique.

Ce droit ne peut être cédé qu'avec l'assentiment du Gouverneur général.

L'autorisation peut être renouvelée.

Tout travail d'exploitation est interdit, à peine de retrait immédiat de l'autorisation.

Le requérant doit fournir, avec sa demande, pour la région dans laquelle il veut explorer, un plan en double expédition, qui permette d'y inscrire les limites du périmètre.

L'autorisation est annulée de plein droit si une amodiation est consentie sur les terrains pour lesquels elle a été accordée.

L'explorateur doit s'entendre avec les intéressés pour l'occupation, à l'intérieur de son périmètre, des terrains nécessaires à l'exécution de ses travaux ; à défaut, il ne peut les occuper qu'après une autorisation donnée par le Préfet, sur l'avis des Ingénieurs des Mines, et après paiement d'une indemnité aux intéressés, réglée à l'amiable ou à défaut par l'autorité judiciaire.

Art. 3. — L'exploitation ne peut avoir lieu qu'en vertu d'amodiations consenties par l'État à la suite d'adjudications, sauf dans le cas prévu à l'article 6.

Art. 4. — L'adjudication porte sur la redevance à payer par tonne de phosphate extraite.

Elle a lieu sur soumissions cachetées.

Les concurrents doivent, un mois à l'avance, justifier de leurs facultés.

La liste des concurrents est arrêtée par le Gouverneur général en Conseil de Gouvernement.

L'adjudication n'est définitive qu'après approbation du Gouverneur général.

Art. 5. — Les adjudications sont préparées par l'Administration des Domaines avec le concours du service des Mines.

Les lots à adjuger doivent être abornés avant l'adjudication, partout où cela sera reconnu nécessaire.

Un plan du lot doit être remis à l'amodiataire lors de l'approbation de l'adjudication; un double reste entre les mains de l'Administration.

Art. 6. — Un décret rendu en la forme des règlements d'administration publique, sur le rapport des Ministres de l'Intérieur et des Travaux publics, après avis du Conseil géneral des Mines, peut accorder, à titre exceptionnel et pour une durée qui ne pourra

excéder dix années, sans adjudication nouvelle, une prorogation de l'amodiation à l'amodiataire dont le bail serait sur le point d'expirer.

Ce décret fixe la redevance à payer par tonne pendant cette prorogation.

Art. 7. — Le cahier des charges relatif à toute amodiation ou prorogation d'amodiation fixe :

1° Les limites entre lesquelles le droit d'exploiter est accordé ;

2° La durée de l'amodiation ;

3° L'extraction minimum à laquelle l'amodiataire sera restreint dans les périodes successives de son amodiation ;

4° Les installations, travaux ou ouvrages que l'amodiataire devra exécuter en cours d'amodiation ou laisser à la fin de l'amodiation.

Art. 8. — Tout amodiataire doit exploiter suivant les règles de l'art en évitant les travaux susceptibles d'être une cause de gaspillage du gîte dans le présent ou de ruine dans l'avenir. Il est soumis à cet effet et dans ce but à la surveillance et au contrôle des Ingénieurs des Mines, le tout à peine d'annulation de l'amodiation, laquelle sera prononcée par l'autorité judiciaire et sans préjudice des dispositions de police administrative sur l'exploitation des carrières.

Aucun amodiataire ne peut céder son droit qu'avec l'autorisation du Gouverneur général en Conseil de Gouvernement et en restant responsable de son cessionnaire vis-à-vis de l'État.

L'amodiataire est responsable au regard de tous intéressés de tous les dommages produits par ses travaux.

L'amodiation sera résiliée de plein droit, sans autre mise en demeure, pour retard de plus de six mois dans le paiement de la redevance prévue à l'article 4 ou 6, ou pour inobservation de la clause de l'extraction minimum, à moins de dispense obtenue au préalable du Gouverneur général, le tout sous les recours de droit en faveur de l'amodiataire.

L'État ne donne aucune garantie en ce qui concerne les ressources du gîte et ne peut encourir aucune responsabilité de ce chef, pas plus que pour erreur dans la contenance superficielle, à moins que cette erreur ne soit de plus d'un dixième.

L'amodiataire aura le droit d'occuper dans l'intérieur de son périmètre les terrains reconnus nécessaires à son exploitation par un arrêté du Préfet, rendu après avis des Ingénieurs des Mines, moyennant le paiement aux intéressés d'une indemnité réglée à l'amiable ou à défaut par l'autorité judiciaire.

Il pourra établir à l'extérieur de son périmètre des routes ou voies ferrées de toute nature, nécessaires à son exploitation, qui auraient été déclarées d'utilité publique.

En fin d'amodiation, il n'est dû par l'État aucune indemnité pour les ouvrages souterrains faits par l'amodiataire. L'État aura la faculté de reprendre, à dire d'experts, les autres installations fixes ou établies à demeure par l'amodiataire, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du périmètre qui lui a été attribué, l'amodiataire pouvant toujours disposer des approvisionnements, de l'outillage et du matériel mobile lui appartenant.

Art. 9. — Tout cultivateur conserve le droit d'utiliser, sur place, pour la culture, les amendements phosphatés provenant des terres pour lesquelles il a le droit de fouille et qui ne sont pas comprises dans un périmètre de recherche ou d'amodiation.

A l'intérieur des périmètres de recherche ou d'amodiation, il ne pourra être fait, dans le but et sous les réserves indiqués au paragraphe précédent, que des fouilles à ciel ouvert qui pourront même être interdites, sans indemnité, par arrêté du Préfet, rendu sur l'avis des Ingénieurs des Mines, s'il était reconnu qu'elles dussent nuire à l'exploitation industrielle, présente ou future, d'un gîte de phosphate.

Art. 10. — Il existera entre carrières voisines de phosphates de chaux en couches, une servitude réciproque pour l'établissement des puits et galeries nécessaires soit pour l'aérage, soit pour l'écoulement des eaux.

En cas de contestations entre les intéressés pour l'exercice de cette servitude, il est statué par le Préfet, après avis des Ingénieurs des Mines, sur l'établissement des ouvrages reconnus nécessaires.

Les indemnités, s'il y a lieu, seront réglées par l'autorité judiciaire.

Art. 11. — Il ne pourra être accordé ni autorisation de recher-

che, ni amodiation en vertu de la présente loi dans les territoires non encore soumis aux opérations du sénatus-consulte du 22 avril 1863.

Art. 12. — En dehors de la redevance qui fait l'objet de l'adjudication visée en l'article 4, il est établi un droit d'extraction de 2 fr. par tonne de phosphate expédiée.

Seront affranchis de ce droit les phosphates effectivement consommés en Algérie et dans la métropole.

Art. 13. — Le total des redevances effectivement payées en vertu des articles 4 ou 6 reviendra pour une moitié à l'État et pour l'autre moitié aux propriétaires ou aux détenteurs des terrains compris dans le périmètre de l'amodiation au prorata des surfaces desdits terrains.

Art. 14. — Les lois qui régissent les carrières sont applicables aux exploitations de phosphate de chaux en couches, en tout ce qui n'est pas contraire à la présente loi.

Art. 15. — Des règlements d'administration publique fixeront les détails d'application de la présente loi, notamment en ce qui concerne le mode d'imposition et de recouvrement du droit prévu à l'article 12 et la répartition des redevances prévues à l'article 13.

Fait à Paris, le 18 janvier 1896.

Le Président de la République française,
Signé : FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur,
Signé : LÉON BOURGEOIS.

Le Ministre des Finances,
Signé : PAUL DOUMER.

Le Ministre des Travaux publics,
Signé : GUYOT-DESSAIGNE.

Le Ministre de l'Agriculture,
Signé : VIGER.

Annexe au projet de loi.

Décret du 12 octobre 1895.

Le Président de la République française,

Sur le rapport des Ministres des Travaux publics, de l'Intérieur et des Finances;

Vu la loi du 24 avril 1833, article 25 ;

Vu l'ordonnance du 22 juillet 1834, article 4;

Décrète :

TITRE PREMIER. — *Exploitation des phosphates dans les terrains domaniaux.*

Article premier. — L'exploitation des phosphates de chaux dans les terrains domaniaux a lieu en vertu d'amodiations passées par voie d'adjudication publique, dans les conditions prévues au présent titre.

Art. 2. — Le cahier des charges relatif à chaque amodiation fixe :

1° Les limites entre lesquelles le droit d'exploiter est accordé ;

2° La durée de l'amodiation ;

3° L'extraction minimum à laquelle l'amodiataire sera restreint dans les périodes successives de son amodiation ;

4° Les installations, travaux ou ouvrages que l'amodiataire devra exécuter en cours d'amodiation ou laisser à la fin de l'amodiation.

Le cahier des charges rappelle :

1° Que l'amodiataire doit exploiter suivant les règles de l'art, en évitant les travaux susceptibles d'être une cause de gaspillage du gîte dans le présent ou de ruine dans l'avenir;

Que l'amodiataire doit être soumis, à cet effet et dans ce but, à la surveillance et au contrôle des Ingénieurs des Mines, agissant au nom et pour le compte du Domaine ;

Le tout à peine d'annulation de l'amodiation, que le Domaine pourra provoquer de l'autorité judiciaire ;

2° Que l'amodiataire ne peut céder son droit qu'avec l'autorisation du Gouverneur général et en restant responsable de son cessionnaire vis-à-vis du Domaine ;

3° Que l'amodiataire reste responsable de tous les dommages

produits à la surface par ses travaux, soit au regard de l'État, pour la propriété, soit, pour la jouissance, au regard de ceux qui la détiennent à un titre quelconque ;

4° Que l'amodiation sera résolue de plein droit, sans autre mise en demeure, pour retard de plus de six mois dans le paiement de la redevance prévue à l'article 3, ou pour inobservation de la clause de l'extraction minimum, à moins de dispense obtenue au préalable du Gouverneur général, le tout sous les recours de droit en faveur de l'amodiataire ;

5° Que l'État ne donne aucune garantie en ce qui concerne les ressources du gîte et ne peut encourir aucune responsabilité de ce chef, pas plus que pour erreur dans la contenance ;

6° Que l'amodiataire aura le droit d'occuper les terrains domaniaux reconnus par l'Administration nécessaires à son exploitation, moyennant le paiement d'une indemnité à l'amiable ou à défaut par experts ;

7° Qu'en fin d'amodiation, il n'est dû aucune indemnité pour les ouvrages souterrains faits par l'amodiataire ; que le Domaine aura la faculté de reprendre, à dire d'experts, les autres installations fixes ou établies à demeure par l'amodiataire, sur les terrains domaniaux, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du périmètre qui lui a été attribué, l'amodiataire pouvant toujours disposer des approvisionnements, de l'outillage et du matériel mobile lui appartenant.

Art. 3. — L'adjudication porte sur la redevance à payer par tonne de phosphate expédiée.

Elle a lieu sur soumissions cachetées.

Les concurrents devront, un mois à l'avance, justifier de leurs facultés.

La liste des concurrents est arrêtée par le Gouverneur général en Conseil de Gouvernement.

L'adjudication n'est définitive qu'après approbation du Gouverneur général.

Art. 4. — Les adjudications sont préparées par l'Administration des Domaines, avec le concours du service des Mines.

Les lots à adjuger devront être abornés avant l'adjudication, partout où cela sera nécessaire.

Un plan du lot doit être remis à l'amodiataire, lors de l'approbation de l'adjudication ; un double reste entre les mains de l'Administration.

Art. 5. — Le Gouverneur général, en Conseil de Gouvernement, peut consentir, sans adjudication, une prorogation d'amodiation à l'amodiataire dont le bail va expirer.

La redevance à payer par tonne pendant cette prorogation est fixée par le Gouverneur général en Conseil de Gouvernement.

Un nouveau cahier des charges est dressé dans les conditions stipulées à l'article précédent.

Art. 6. — Dans les terrains domaniaux non encore amodiés, des recherches pourront être autorisées pour une durée d'un an par arrêté du Gouverneur général, rendu sur l'avis des Ingénieurs des Mines, l'Administration des Domaines entendue.

L'autorisation assure à son titulaire le droit exclusif de faire des recherches dans les limites qu'elle indique.

Ce droit ne pourra être cédé qu'avec l'assentiment du Gouverneur général.

L'autorisation pourra être renouvelée.

Le requérant devra fournir, avec sa demande, pour la région dans laquelle il veut explorer, un plan en double expédition, qui permettra d'y inscrire les limites du périmètre.

L'autorisation est annulée de plein droit, si une amodiation est consentie sur les terrains pour lesquels elle a été accordée.

Art. 7. — Le Gouverneur général en Conseil de Gouvernement peut, sur la proposition des Ingénieurs des Mines, accorder une amodiation sans adjudication, en faveur de tout explorateur dûment autorisé, dont les travaux de recherche auraient établi l'existence d'un gîte exploitable en dehors des régions connues.

L'acte d'amodiation fixe, en ce cas, la redevance à payer par tonne expédiée.

Le cahier des charges est rédigé suivant les indications de l'article 2.

Le lot est aborné et le plan est dressé comme il est dit à l'article 4.

Titre II. — *Exploitation des phosphates dans les terrains des départements et des communes.*

Art. 8. — Les départements et les communes, pour les terrains dont ils ont la disposition et l'administration au titre français, ne pourront céder le droit d'exploiter les phosphates que par adjudications publiques portant sur une redevance à payer par tonne expédiée.

Les amodiations et les cahiers des charges, pour les terrains que les départements et communes voudront mettre en adjudication, seront préparés par les Ingénieurs des Mines.

Les adjudications ne seront définitives qu'après approbation du Gouverneur général en Conseil de Gouvernement.

Les Ingénieurs et agents du service des Mines seront chargés de la surveillance des exploitations départementales et communales, en vue d'éviter leur gaspillage ou leur ruine par les amodiataires.

Des remises seront faites au personnel du service des Mines par les départements et les communes, pour le concours que ledit personnel aura à prêter d'après le présent article. Le taux de ces remises sera fixé par un arrêté du Gouverneur général.

Art. 9. — Le département ou la commune peut consentir, sans adjudication, une prorogation d'amodiation à l'amodiataire dont le bail va expirer.

La redevance à payer par tonne pendant cette prorogation est fixée par le Conseil général ou le Conseil municipal.

Un nouveau cahier des charges est dressé dans les conditions stipulées à l'article précédent.

La prorogation ne peut produire effet qu'avec l'approbation du Gouverneur général en Conseil de Gouvernement.

Titre III. — *Exploitation des phosphates dans les terrains communaux de douars et dans les terrains relevant du droit musulman.*

Art. 10. — La recherche et l'exploitation des phosphates dans les terrains communaux appartenant aux douars, ont lieu comme il est stipulé pour les terrains domaniaux aux articles 1 à 7.

La redevance à payer par l'adjudicataire est payée par moitié entre le douar et l'État.

Le personnel du service des Mines recevra des indemnités à la charge des douars, pour le concours qui lui est imparti aux termes du présent article. Le taux de ces indemnités sera réglé par arrêté du Gouverneur général.

Un arrêté du Préfet, rendu sur l'avis des Ingénieurs des mines, peut autoriser l'amodiataire, à charge d'une indemnité qu'il paiera au douar, à occuper, à l'intérieur ou à l'extérieur de son lot, les terrains communaux de douars qui seraient reconnus nécessaires à l'exploitation.

Art. 11. — Dans les douars qui, après avis des Ingénieurs des mines, auront été désignés par le Gouverneur général, en Conseil de Gouvernement, comme contenant des phosphates susceptibles d'être exploités, la recherche et l'exploitation des phosphates, dans les terrains qui relevaient du droit musulman à la date de la promulgation de cet arrêté de désignation, ont lieu comme il est dit à l'article précédent pour les terrains communaux de douars.

Toutefois la redevance à payer par l'amodiataire pour l'extraction, et l'indemnité par lui due pour occupation de surface, reviennent à ceux qui ont la propriété ou la jouissance des terrains fouillés ou occupés.

Les droits acquis au titre français, postérieurement à la promulgation de l'arrêté de désignation, ne peuvent être opposés au droit d'extraction de l'amodiataire pendant la durée de son amodiation ; ils peuvent être opposés à son droit d'occupation de la surface.

Titre IV. — *Dispositions générales.*

Art. 12. — Il existera, entre carrières voisines de phosphates, à quelque titre qu'elles existent ou soient entreprises, une servitude réciproque de desserte, pour permettre à un exploitant enclavé de jouir, en traversant la carrière voisine, de voies souterraines pour l'aérage, l'épuisement ou le sortage des produits, ladite servitude se combinant, s'il y a lieu, avec celle de l'article 682 du Code civil.

Art. 13. — Il ne pourra être accordé ni autorisation de recherche,

ni amodiation, en vertu du présent décret, dans les territoires non encore soumis aux opérations du sénatus-consulte du 21 avril 1863.

Des désignations pourront être faites dans ces territoires suivant les formes et pour l'objet prévus à l'article 11 ; elles produiront les mêmes effets à partir de la date de leur promulgation.

Art. 14. — Il sera perçu un droit de 0 fr. 50 c. par tonne de phosphate, marchand et prêt pour la vente, qui aura été extrait en Algérie.

Ce droit ne sera pas perçu sur les phosphates employés dans l'Algérie.

Art. 15. — Le Gouverneur général édictera, en Conseil de Gouvernement, les arrêtés nécessaires pour l'exécution du présent règlement.

Art. 16. — Les Ministres des Travaux publics, de l'Intérieur et des Finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des lois* et au *Bulletin officiel* du Gouvernement général de l'Algérie et publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 12 octobre 1895.

Signé : FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Travaux publics,
Signé : DUPUY-DUTEMPS.

Le Président du Conseil, Ministre des Finances,
Signé : RIBOT.

Le Ministre de l'Intérieur,
Signé : LEYGUES.

RECHERCHES

SUR LES QUANTITÉS DE

MATIÈRES FERTILISANTES

NÉCESSAIRES

A LA CULTURE INTENSIVE DE LA POMME DE TERRE

PAR

M. Aimé GIRARD

MEMBRE DE L'INSTITUT
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS.

Les données que la science agricole possède au sujet des quantités de matières fertilisantes nécessaires au développement de la pomme de terre sont, en face des progrès modernes de la culture, devenues insuffisantes. C'est principalement sur les recherches faites par Boussingault à Bechelbronn, il y a soixante ans, que ces données reposent; mais les récoltes d'aujourd'hui ne sont plus les récoltes d'autrefois; les exigences des variétés nouvelles à grand rendement et à grande richesse ne nous sont pas connues et c'est chose certaine, *a priori,* qu'entre les unes et les autres, à ce point de vue, comme au point de vue de la teneur en matières utiles, doivent exister des différences.

En présence du grand développement qu'a pris, depuis quelques

années, la culture intensive de la pomme de terre, et pour éclairer les agriculteurs sur la question si importante des engrais que cette culture réclame, j'ai considéré comme utile de reprendre, dans son entier, la question de la détermination des quantités de matières fertilisantes enlevées au sol par la pomme de terre.

Pour que cette étude fût complète, j'ai pensé qu'elle devait comprendre deux parties distinctes, d'un côté la détermination des quantités de matières fertilisantes fixées par les tubercules récoltés, d'un autre une détermination toute semblable sur les touffes que développe la végétation aérienne de la plante.

De ces deux questions, la première est aisée à résoudre ; il n'en est pas de même de la seconde, celle-ci présente des difficultés sur lesquelles je dois d'abord insister.

Une première fois, en 1892, j'ai entrepris cette étude. Choisissant, dans mes cultures, une dizaine de variétés, j'ai soumis à l'analyse, pour chacune d'elles, d'un côté, les tubercules, d'un autre, les touffes entières.

Cette manière de faire — je l'ai reconnu depuis — était défectueuse, pour deux raisons.

En premier lieu, c'est une faute que de mettre au compte des matières fertilisantes exportées, et en bloc, celles que contiennent les feuilles et celles que contiennent les tiges ; en fin de campagne, en effet, si l'arrachage est retardé jusqu'au moment où la maturité des tubercules est complète, les tiges restent seules debout, toutes les feuilles desséchées sont tombées sur le sol et lui ont restitué les matières fertilisantes qu'elles avaient absorbées au cours de la végétation.

De là, pour obtenir le bilan exact de l'assimilation par la plante des matières fertilisantes, la nécessité de soumettre à la pesée d'abord, à l'analyse ensuite, d'un côté les tubercules, d'un autre les tiges effeuillées, d'un autre enfin, les feuilles elles-mêmes.

En second lieu, c'est une question délicate que de savoir à quel moment de la végétation il convient de placer ces pesées et ces analyses.

A première vue, il semble qu'il faille le faire au moment où la vé-

gétation atteint son maximum et avant que le feuillage commence à se flétrir; c'est vers la fin d'août, en général, que ce moment se rencontre pour les variétés demi-tardives et tardives.

Des doutes, cependant, me sont venus à ce propos, et je me suis demandé si l'étude des tiges et des feuilles, faite à ce moment, ne conduirait pas à exagérer le poids des matières fertilisantes exportées. A partir de ce moment, en effet, les tubercules, je l'ai constaté par l'expérience directe, continuent à s'enrichir, non seulement en fécule, mais encore en matières minérales, et, par suite, j'ai été conduit à me demander si, dans cette circonstance, les feuilles et les tiges ne se dépouillent pas d'une partie des matières fertilisantes qu'elles avaient précédemment immobilisées pour les délivrer aux tubercules; si, en un mot, la teneur des tiges et des feuilles mortes en azote, en acide phosphorique et en potasse n'est pas, à poids égal de substance sèche, moindre que celle des tiges et des feuilles fraîches, cet amoindrissement étant, bien entendu, indépendant de celui qui peut résulter de l'intervention de la pluie.

C'est en 1893 que j'ai cherché à résoudre cette question délicate. L'été de cette année se prêtait singulièrement à la solution. On sait combien la sécheresse a été grande alors; à la ferme de la Faisanderie, à Joinville-le-Pont, depuis la fin d'août jusqu'au moment de la dessiccation complète des touffes, il n'est pas tombé une goutte d'eau, et, par suite, je n'ai pas eu à me préoccuper de l'influence que le lavage des feuilles mourantes par la pluie aurait pu exercer.

Dans de semblables conditions, la question se ramène à comparer entre elles, au point de vue de leur composition, d'un côté les feuilles et les tiges vertes au moment de leur développement maximum, d'un autre, les feuilles et les tiges alors que, mortes et desséchées, elles constituent le résidu de la végétation.

Pour faire cette comparaison, c'était chose indispensable que de récolter ces dernières, aussitôt leur dépérissement, de façon à les soustraire à l'action des agents atmosphériques qui en auraient pu modifier la composition.

Dans ce but, j'ai, à la fin d'août et sur quatre variétés, opéré de la manière suivante :

Pour chacune de ces variétés, trois pieds ont été choisis parmi les plus vigoureux de la pièce et les touffes coupées au ras du sol ; puis les feuilles et les tiges de chaque touffe ont été séparés à la main, pesées et enfin soumises séparément à l'analyse chimique.

Dans la même pièce et au voisinage de ces trois pieds, trois autres ont été choisis ensuite, parmi les plus vigoureux également, aussi semblables que possible aux premiers et chacun d'eux a été marqué d'un piquet et numéroté. A chacun des douze pieds ainsi marqués, un petit sac de toile, soigneusement étiqueté, a été individuellement affecté, et tous, à partir de ce moment, ont été l'objet d'une surveillance attentive. Deux ou trois fois par semaine, suivant les circonstances, les uns et les autres étaient visités, l'état des feuilles attentivement vérifié, et de chaque pied, immédiatement, on détachait, pour les loger dans le sac correspondant, les feuilles dont la dessiccation annonçait le dépérissement.

La cueillette des feuilles a été ainsi continuée jusqu'à ce que, toutes ayant péri, les tiges mortes restassent seules absolument nues au-dessus des tubercules. Ces tiges sèches ont été alors coupées au ras du sol comme l'avaient été précédemment les touffes fraîches.

J'ai eu ainsi, entre les mains, les feuilles et les tiges, d'un côté des touffes en pleine végétation, d'un autre, des touffes mortes.

Les unes et les autres ont été alors séchées à 100° puis soumises à l'analyse dans le but de déterminer leur teneur en azote, en acide phosphorique et en potasse.

Sur les procédés à l'aide desquels cette analyse a été exécutée, il est inutile d'insister ; je me contenterai d'indiquer qu'après avoir séché feuilles et tiges à 100°, de façon à établir la comparaison sur des produits amenés préalablement au même état, la teneur en azote a été déterminée par le procédé Kjeldahl, l'acide phosphorique dosé à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, la potasse enfin à l'état de chloroplinate de potassium.

En opérant ainsi sur quatre variétés différentes, j'ai obtenu, pour

100 grammes de matière séchée à 100°, les proportions suivantes des trois éléments fertilisants :

		FEUILLES récoltées		TIGES récoltées	
		vertes.	mortes.	vertes.	mortes.
Athènes. . .	Azote.	3.83	4.15	2.83	2.38
	Acide phosphorique.	0.72	0.54	0.38	0.08
	Potasse.	3.30	2.46	2.89	2.82
Gelbe rose. .	Azote.	3.27	2.66	2.03	1.26
	Acide phosphorique.	0.33	0.30	0.31	0.05
	Potasse.	3.70	2.42	5.26	5.38
Charolaise. .	Azote.	3.45	3.17	2.83	2.69
	Acide phosphorique.	0.79	0.53	0.53	0.25
	Potasse.	5.15	3.36	8.64	6.76
Institut de Beauvais.	Azote.	2.99	2.71	2.41	1.96
	Acide phosphorique.	0.49	0.34	0.28	0.10
	Potasse.	3.99	2.99	5.45	4.15

En étudiant les nombres qui précèdent, il est aisé de reconnaître qu'au dépérissement de la touffe, correspond la disparition d'une partie des éléments fertilisants logés dans le tissu des feuilles et des tiges; sur les 24 résultats que ces nombres traduisent, deux fois seulement, une fois pour l'azote, une fois pour la potasse, des exceptions se sont produites, et c'est, à coup sûr, à quelque accident d'échantillonnage ou d'analyse que ces exceptions doivent être attribuées ; la concordance des 22 autres résultats autorise à considérer le phénomène comme constant.

Peu importante le plus souvent pour l'azote et l'acide phosphorique, en ce qui regarde les feuilles, peu importante également pour l'azote en ce qui regarde les tiges, la diminution devient considérable, au contraire, pour la potasse, en ce qui regarde les feuilles et les tiges ; en certaines circonstances, elle dépasse le tiers des proportions constatées dans les touffes fraîches ; elle dépasse la moitié, en ce qui concerne l'acide phosphorique primitivement contenu dans les tiges.

Dans les circonstances ordinaires, le remarquable phénomène que je viens de faire connaître pourrait être expliqué par l'action des pluies, mais, comme je l'ai fait fait remarquer déjà, les conditions météorologiques de 1893 obligent à écarter cette explication ; pen-

dant la durée entière de l'observation et de la récolte des feuilles, il n'est pas tombé à Joinville une seule goutte d'eau.

Il faut donc recourir à une autre hypothèse et admettre qu'à la fin de la végétation, une partie des matières fertilisantes contenues dans les tiges et dans les feuilles émigre vers les tubercules en même temps que les hydrates de carbone générateurs de fécule.

De là, la nécessité absolue de réserver spécialement à l'analyse les feuilles et les tiges récoltées au moment de leur dépérissement ; à l'analyse des feuilles et des tiges fraîches, correspondraient, en effet, des dosages trop élevés.

C'est en 1894, qu'éclairé par les recherches précédentes, j'ai entrepris la détermination des quantités de matières fertilisantes consommées tant par la végétation souterraine que par la végétation aérienne de la pomme de terre et par conséquent le poids de ces matières exporté par les produits de la culture. Cette détermination, afin de lui donner autant de généralité que possible, a porté sur huit variétés, les unes hâtives comme l'Institut de Beauvais, la Gelbe rose et la Charolaise, les autres demi-tardives ou tardives comme la Red Skinned, l'Idaho, la Chardon, la Richter's Imperator et la Géante bleue.

Étude des tubercules. — Cultivées par moi, à la ferme de la Faisanderie, à Joinville-le-Pont, pendant dix années consécutives, les variétés que je viens de nommer ont, pour les dix récoltes correspondantes, fourni, d'une année à l'autre, des rendements souvent très différents. Conduites à toute époque d'après la même méthode, recevant les mêmes labours, les mêmes engrais, etc., mais placées sous la dépendance des conditions météorologiques de l'année, les cultures ont montré des variations qui, quelquefois, se sont élevées du simple au double.

Parmi ces rendements, ce sont, évidemment, les rendements maxima que j'ai dû choisir pour fixer les quantités maxima également, de matières fertilisantes exportées par la récolte des tubercules; les rendements moyens, en effet, n'eussent pas fait connaître la limite des exigences de la pomme de terre.

J'indique ci-dessous quels ont été, à la ferme de la Faisanderie, ces rendements maxima, en quelle année ils ont été obtenus et quelle a été, pour la campagne citée, la teneur en fécule des tubercules récoltés :

Richter's Imperator	35 000 kilogr.	à 20.50	p. 100	en 1895.
Géante bleue.	35 000	—	à 11.85	—	en 1892.
Red Skinned.	31 400	—	à 17	—	en 1887.
Idaho.	35 700	—	à 17.30	—	en 1890.
Institut de Beauvais. . . .	26 600	—	à 13.70	—	en 1893.
Charolaise.	28 400	—	à 15.10	—	en 1893.
Chardon	31 200	—	à 13	—	en 1887.
Gelbe rose	29 100	—	à 16	—	en 1888.

Ce sont là de grands rendements en poids auxquels ne correspond pas toujours, malheureusement, une richesse proportionnelle en matières sèches ; de là la nécessité de tenir compte de l'hydratation des tubercules et de faire porter l'estimation des matières fertilisantes consommées par ceux-ci sur la matière préalablement desséchée à l'absolu.

Découpés en cossettes, les tubercules de ces huit variétés ont été, avec précaution, séchés à 100° et leur teneur en eau ainsi déterminée.

En tenant compte de l'espacement adopté pour la plantation ($0^m,60$ sur $0^m,50$), ce qui correspond au nombre de 33 000 poquets environ à l'hectare, j'ai pu alors déterminer le poids de tubercules secs récolté à chaque poquet et récolté également sur un hectare de terrain ; ces poids sont indiqués dans le tableau suivant :

	POIDS de tubercules frais au poquet	EAU p. 100.	POIDS de tubercules secs au poquet.	POIDS de tubercules secs à l'hectare
	kilogr.		kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator. . .	1,060	79.1	0,221	7 296
Géante bleue.	1,060	80.8	0,203	6 699
Red Skinned	0,951	80.3	0,187	6 171
Idaho.	1,082	79 6	0,221	7 296
Institut de Beauvais . .	0,806	83.5	0,133	4 389
Charolaise.	0,860	79.1	0,180	5 940
Chardon.	0,945	80.9	0,187	6 171
Gelbe rose.	0,881	78.9	0,186	6 138

Aux cossettes desséchées à 100° de ces huit variétés, on a appliqué alors la méthode d'analyse précédemment indiquée et dans les tubercules de chacunes d'elles on a constaté la présence *par kilogramme de tubercules secs* des quantités ci-dessous de matières fertilisantes :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	— gr.	— gr.	— gr.
Richter's Imperator.. .	15,40	3,82	25,19
Géante bleue.	15,96	3,97	30,46
Red Skinned	18,48	3,52	31,68
Idaho.	16,24	3,80	26,72
Institut de Beauvais . .	21,84	4,46	33,61
Charolaise.	18,48	3,58	27,83
Chardon.	17,36	5,54	32,83
Gelbe rose.	19,88	3,85	28,22

C'est, on le voit, dans des limites peu étendues que varie, en général, le pourcentage de matières fertilisantes constaté par l'analyse dans les cossettes desséchées des huit variétés de pommes de terre sur lesquelles j'ai fait porter cette étude ; cependant, lorsqu'on applique ce pourcentage aux poids de tubercules récoltés à l'hectare, on voit apparaître chez ces huit variétés des exigences notablement différentes ; à la récolte totale correspondent alors, par hectare, les chiffres de consommation suivants :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
Richter's Imperator.. . .	112,3	27,87	183,8
Géante bleue.	106,9	26,59	204,0
Red Skinned	114,0	21,72	195,5
Idaho.	118,5	27,72	194,9
Institut de Beauvais . . .	95,8	19,57	147,5
Charolaise.	109,8	21,26	165,3
Chardon.	107,1	34,19	202,6
Gelbe rose.	122,0	23,63	173,2

Ce sont là des quantités considérables qui, dès à présent, conduisent à ranger la pomme de terre parmi les plantes les plus exigeantes en azote et en potasse. Sur l'importance de ces quantités,

je n'insisterai pas cependant pour le moment; c'est seulement lorsque, de même, les quantités de matières fertilisantes contenues dans les feuilles et dans les tiges auront été déterminées, qu'en examinant la question dans son ensemble, il conviendra de s'y arrêter.

Étude des touffes. — La première difficulté rencontrée au cours de cette étude devait être la détermination du poids représentant le développement maximum de la touffe et la répartition du poids de cette touffe entre les feuilles et les tiges dont elle est formée.

C'eût été s'exposer à des erreurs graves que d'adopter, d'une manière générale, et pour toutes les variétés, le poids constaté pour la touffe au cours d'une campagne unique. Les conditions météorologiques exercent, en effet, sur les unes et sur les autres, une influence quelquefois très différente, et l'on voit, pour une même campagne, la végétation de certaines variétés atteindre un développement considérable, alors que d'autres variétés, à côté de celles-ci, restent inférieures à ce qu'elles fussent devenues sous l'influence de conditions différentes.

Aussi, préoccupé comme j'ai dû l'être en entreprenant ces recherches, de reconnaître les quantités maxima de matières fertilisantes que la pomme de terre peut, dans les circonstances qui la favorisent le plus, immobiliser dans ses diverses parties, ai-je dû, pour fixer le poids maximum de la touffe des huit variétés étudiées, envisager à la fois les résultats constatés à la suite de plusieurs campagnes (1892, 1893, 1894 et 1895). Laissant de côté alors les pieds de dimensions exceptionnelles que l'on rencontre quelquefois dans les cultures soignées, j'ai fait porter mon choix en dehors de ceux-ci sur les touffes le plus régulièrement développées et dont la végétation était la plus belle.

Les pesées, d'ailleurs, ont toujours eu lieu sur un nombre de touffes assez grand pour qu'il fût possible de considérer la moyenne de ces pesées comme représentant la normale du maximum.

En opérant ainsi, j'ai été conduit à adopter, comme poids maximum d'une touffe, pour chacune de huit variétés étudiées, les nombres ci-dessous, nombres qui ensuite ont été appliqués aux

33 000 poquets que comporte un hectare à l'espacement de $0^m,60$ sur $0^m,50$.

	POIDS DES TOUFFES	
	par pied.	par hectare.
	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator . . .	1,100	36,300
Géante bleue.	0,800	26,400
Red Skinned.	0,750	24,750
Idaho.	0,745	24,585
Institut de Beauvais . . .	0,723	23,859
Charolaise.	0,714	23,562
Chardon.	0,680	22,440
Gelbe rose.	0,650	21,450

Après avoir ainsi déterminé le poids maximum des touffes développées pour chacune de ces huit variétés, je me suis attaché à reconnaître les proportions relatives des feuilles et des tiges fraîches dont chacune d'elles était composée; pour la plupart des variétés, ces proportions se sont traduites par des chiffres très voisins les uns des autres, pour quelques-unes cependant, elles ont présenté des différences trop marquées pour qu'on les puisse négliger.

En outre, et pour pouvoir, ensuite, avec plus de précision établir la composition des diverses parties de la touffe, j'ai, pour chacune des variétés, déterminé l'état d'hydratation des tiges et des feuilles. Les proportions relatives des tiges et des feuilles par rapport à 100 de touffe, vérifiées à plusieurs reprises, ainsi que l'état d'hydratation des unes et des autres, correspondent aux chiffres ci-dessous :

	FEUILLES.		TIGES.	
	Poids p. 100 de touffe.	Eau p. 100 de feuilles.	Poids p. 100 de touffe.	Eau p. 100 de tiges.
Richter's Imperator . . .	40	85.40	60	89.37
Géante bleue.	34	76.09	66	89.64
Red Skinned	38	83.60	62	90.19
Idaho.	43	84.32	57	90.82
Institut de Beauvais . . .	39	79.36	61	90.47
Charolaise.	45	85.66	55	91.16
Chardon.	40	82.65	60	93.58[1]
Gelbe rose.	38	78.31	62	89.57

1. La grande hydratation des tiges de la variété Chardon, qui paraît anormale, s'est vérifiée pour trois campagnes différentes (1892-1894-1896).

Rapportées aux poids de touffes précédemment fixés, les proportions ci-dessus conduisent à admettre les proportions suivantes, en poids, des feuilles et des tiges formant les touffes vertes de chaque variété :

	PAR TOUFFE.		A L'HECTARE.	
	Feuilles.	Tiges.	Feuilles.	Tiges.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator . . .	0,440	0,660	14 520	21 780
Géante bleue.	0,272	0,528	8 976	17 424
Red Skinned	0,285	0,465	9 405	15 345
Idaho.	0,320	0,425	10 560	14 025
Institut de Beauvais. . .	0,282	0,441	9 306	14 553
Charolaise.	0,321	0,393	10 593	12 969
Chardon.	0,272	0,408	8 976	13 464
Gelbe rose.	0,247	0,403	8 151	13 299

Tels sont les poids de feuilles et de tiges vertes que développe, à chaque poquet et sur chaque hectare cultivé, la végétation de chacune des huit variétés dont j'ai entrepris de déterminer la capacité de consommation vis-à-vis des matières fertilisantes.

Ces poids de tiges et de feuilles sont beaucoup plus considérables qu'on ne l'avait cru jusqu'ici ; en outre, ils sont très différents d'une variété à l'autre ; c'est ainsi, par exemple, qu'on voit le poids des feuilles et des tiges de la Gelbe rose inférieur d'un bon tiers au poids des feuilles et des tiges de la Richter's Imperator.

Pour établir, cependant, le compte des quantités de matières fertilisantes empruntées au sol par ces huit variétés, il ne m'a pas semblé prudent de prendre, comme point de comparaison, les poids de feuilles et de tiges vertes qui viennent d'être déterminés pour chacune d'elles ; des conditions météorologiques spéciales à chaque campagne, en effet, peuvent déterminer dans l'état d'hydratation des unes et des autres des différences notables, et c'est sur le poids des feuilles et des tiges séchées à 100° qu'il convient de faire reposer la détermination des quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse absorbées par les touffes de la pomme de terre.

Si, d'ailleurs, on attribue aux feuilles et aux tiges vertes l'état d'hydratation moyen ci-dessus indiqué, on retombe, pour le poids du produit sec, sur des chiffres sensiblement égaux à ceux qu'a fournis,

en 1894, la pesée directe des feuilles et des tiges qui, après avoir été récoltées au jour le jour sur les touffes qui commençaient à faner, ont été ensuite séchées à 100°.

On est ainsi conduit à considérer les touffes des huit variétés mises en expérience comme formées d'une quantité de feuilles et de tiges qui, après dessiccation à 100°, représentent les poids suivants au poquet et à l'hectare :

	PAR POQUET.		A L'HECTARE.	
	Feuilles.	Tiges.	Feuilles.	Tiges.
	gr.	gr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator . . .	64	70	2 112	2 310
Géante bleue.	65	55	2 145	1 815
Red Skinned	47	46	1 551	1 518
Idaho.	50	39	1 650	1 287
Institut de Beauvais. . .	58	42	1 914	1 386
Charolaise.	46	35	1 518	1 155
Chardon.	47	26[1]	1 551	858[1]
Gelbe rose.	53	42	1 749	1 386

C'est sur les feuilles et sur les tiges récoltées comme je l'ai précédemment indiqué, au fur et à mesure de leur dépérissement et après les avoir, ainsi qu'il vient d'être dit, séchées à 100°, que j'ai fait porter l'analyse.

J'ai ainsi obtenu, par kilogramme de feuilles séchées à 100° et pour chacune des huit variétés étudiées, les poids suivants d'azote, d'acide phosphorique et de potasse :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	gr.	gr.	gr.
Richter's Imperator.. .	33,13	5,24	37,17
Géante bleue.	31,26	5,78	39,67
Red Skinned	25,20	4,91	39,30
Idaho.	34,53	4,91	44,14
Institut de Beauvais . .	34,06	5,13	33,91
Charolaise.	29,86	4,55	30,05
Chardon.	36,40	5,14	50,85
Gelbe rose.	27,06	5,37	35,99

1. C'est à la grande hydratation des tiges de la variété Chardon qu'est due la faiblesse de ce chiffre.

Appliquées aux poids de feuilles sèches développées à l'hectare, ces teneurs correspondent à une consommation de :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator. . . .	70,00	11,06	78,50
Géante bleue.	67,05	12,40	85,09
Red Skinned	39,08	7,67	60,95
Idaho.	56,97	8,10	72,83
Institut de Beauvais . . .	65,19	9,82	64,90
Charolaise.	45,32	6,90	45,61
Chardon.	56,45	7,97	78,86
Gelbe rose.	47,32	9,39	62,91

L'analyse des tiges a, dans les mêmes conditions, donné, par kilogramme de tiges séchées à 100°, les nombres ci-dessous :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	gr.	gr.	gr.
Richter's Imperator . . .	13,10	1,54	42,94
Géante bleue.	18,55	2,94	57,15
Red Skinned	19,95	2,30	54,54
Idaho.	18,90	2,66	53,84
Institut de Beauvais . . .	17,85	2,10	64,73
Charolaise.	18,20	2,20	60,19
Chardon.	24,15	2,58	68,46
Gelbe rose.	19,25	2,58	47,70

Appliqués aux poids de tiges sèches développées à l'hectare, ces poids correspondent à une consommation moyenne de :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator . . .	30,26	3,55	99,19
Géante bleue.	33,66	5,33	103,72
Red Skinned	30,28	3,49	82,79
Idaho.	24,32	3,42	69,29
Institut de Beauvais . . .	24,74	2,91	89,71
Charolaise.	21,02	2,54	69,52
Chardon.	20,72	2,21	58,74
Gelbe rose.	26,68	3,57	66,11

A l'aide des données qui précèdent on peut alors établir le compte

exact des quantités de matières fertilisantes qui, pour les huit variétés soumises à l'étude, correspondent aux récoltes maxima; ce compte est fourni par la somme des quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse constatées à l'analyse dans les poids maxima également de tubercules, de feuilles et de tiges produit sur un hectare; on trouve ainsi :

Poids d'azote, d'acide phosphorique et de potasse enlevés à l'hectare par les récoltes maxima de tubercules, de feuilles et de tiges.

		TUBERCULES.	FEUILLES.	TIGES.	TOTAL.
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator.	Azote	112,30	70,00	30,26	212
	Acide phosphorique	27,87	11,06	3,55	42
	Potasse	183,80	78,50	99,19	361
Géante bleue.	Azote	106,90	67,05	33,66	208
	Acide phosphorique	26,59	12,40	5,33	44
	Potasse	204,00	85,09	103,72	393
Red Skinned.	Azote	114,00	39,08	30,28	183
	Acide phosphorique	21,72	7,61	3,49	33
	Potasse	195,50	60,95	82,79	339
Idaho	Azote	118,50	56,97	24,32	200
	Acide phosphorique	27,72	8,10	3,42	39
	Potasse	194,90	72,83	69,29	337
Institut de Beauvais.	Azote	95,80	65,19	24,74	186
	Acide phosphorique	19,57	9,82	2,91	32
	Potasse	147,50	64,90	89,71	302
Charolaise.	Azote	109,80	45,32	21,02	176
	Acide phosphorique	21,26	6,90	2,54	31
	Potasse	165,30	45,61	69,52	280
Chardon	Azote	107,10	56,45	20,72	184
	Acide phosphorique	34,19	7,97	2,21	44
	Potasse	202,60	78,86	58,74	340
Gelbe rose	Azote	122,00	47,32	26,68	196
	Acide phosphorique	23,63	9,39	3,57	37
	Potasse	173,20	62,94	66,11	302

De l'examen des chiffres inscrits au tableau qui précède résulte aussitôt cette conséquence que la présence dans le sol d'une quantité considérable de matières fertilisantes est indispensable au succès de la culture intensive de la pomme de terre.

Les exigences de la plante, cependant, n'ont rien d'incompatible avec les coutumes de la culture perfectionnée d'aujourd'hui, et c'est

sur l'emploi d'engrais naturels ou complémentaires renfermant les quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse constatées par les analyses ci-dessus que mes plus habiles collaborateurs ont, depuis dix ans, basé leurs opérations.

La plupart de ceux auxquels les rendements de 30000 et 35000 kilogrammes de tubercules riches sont familiers apportent à l'hectare environ :

35 000 kilogr. de fumier,
200 — de nitrate de soude,
400 — de superphosphate riche,
300 — de sulfate de potasse,

ou l'équivalent en autres produits.

Or, si l'on admet que les fumiers d'exploitations bien tenues comme celles sur lesquelles ces cultures ont lieu sont riches à 0.5 p. 100 d'azote, 0.25 p. 100 d'acide phosphorique et 0.7 p. 100 de potasse, on trouve que l'emploi des quantités d'engrais ci-dessus indiquées correspond aux apports suivants :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Par le fumier.	175	87,5	245
Par le nitrate.	32	»	»
Par le superphosphate . .	»	60	»
Par le sulfate de potasse .	»	»	108
TOTAL . .	207	147,5	353

Pour mes cultures personnelles, à Joinville-le-Pont, sur le terrain graveleux et pauvre de la ferme de la Faisanderie, j'ai généralement employé comme fumure :

35 000 kilogr. de fumier de mouton.
250 — de nitrate de soude.
400 — de superphosphate riche.
200 — de sulfate de potasse.

Le fumier de la bergerie de Joinville, où, pendant l'hiver, les moutons sont nourris de luzerne sèche et de betteraves, renferme, d'ailleurs, 0.65 p. 100 d'azote, 0.30 p. 100 d'acide phosphorique

et 1.50 p. 100 de potasse, de telle sorte qu'à l'emploi des engrais ci-dessus correspond à l'hectare un apport de :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Par le fumier.	162,5	75	375
Par le nitrate.	40	»	»
Par le superphosphate . .	»	60	»
Par le sulfate de potasse .	»	»	72
TOTAL . .	202,5	135	447

Si l'on compare alors ces divers apports aux quantités moyennes de matières fertilisantes absorbées par les récoltes maxima, quantités moyennes qui, d'après le tableau précédent, s'élèvent aux chiffres suivants :

Azote.	193	kilogr. par hectare.
Acide phosphorique. . . .	38	—
Potasse	332	—

On reconnaît que ces apports suffisent aux exigences des plus belles récoltes et, pour l'acide phosphorique particulièrement, les dépassent de beaucoup.

L'achat de quantités d'engrais aussi considérables viendrait, cependant, grever la culture de frais élevés et diminuer dans une mesure importante les bénéfices si l'exportation en devait être totale.

Il n'en est rien, heureusement, et si le travail est bien conduit, la culture doit récupérer la moitié environ de ces engrais.

Tout d'abord, il convient de faire remarquer qu'à l'époque de la maturité, toutes les feuilles de la touffe se détachant des tiges retombent sur le sol, y pourrissent et rendent par conséquent à celui-ci toute la matière fertilisante logée dans leurs tissus. C'est là, en dehors de la question d'enrichissement des tubercules, une des raisons qui doivent faire considérer l'arrachage des plantes encore vertes ou partiellement vertes comme une coutume absolument défectueuse ; les quantités d'azote et de potasse surtout que les feuilles contiennent sont considérables, souvent elles représentent le tiers de la consommation totale faite par la plante et leur intervention à la culture prochaine ne doit pas être négligée.

C'est, d'autre part, une coutume très fâcheuse que celle de brûler les tiges sur le champ, après l'arrachage. Sans doute, on retrouve bien ainsi dans les cendres l'acide phosphorique et la potasse, mais tout l'azote est perdu. Or, la quantité de cet élément fertilisant que renferment les tiges est importante ; en moyenne, elle est de 27 kilogr. à l'hectare, ce qui, au prix de 1 fr. 50 c. le kilogramme, équivaut à une perte qui dépasse 40 fr. à l'hectare également.

Les tiges doivent donc être soigneusement recueillies et jointes aux fumiers ; là elles se transforment rapidement et les éléments fertilisants qu'elles ont exportés du champ s'y retrouvent bientôt, à l'état assimilable.

A Joinville-le-Pont, M. Lachouille, régisseur de la ferme de la Faisanderie, en a fait, pendant plusieurs années, la litière des 500 moutons que comptait son troupeau et il en a obtenu un fumier particulièrement riche.

Ce serait donc une erreur que de considérer les matières fertilisantes absorbées par les feuilles et par les tiges comme réellement perdues pour l'exploitation ; naturellement pour les feuilles, artificiellement pour les tiges, elles doivent rester à la ferme, et c'est en somme aux quantités absorbées par les tubercules seuls que doit se borner l'exportation des engrais délivrés au sol.

La réduction que subissent, lorsqu'il en est ainsi, les chiffres précédents, est considérable ; si l'on se reporte au tableau que j'ai précédemment donné des quantités consommées par les diverses parties de la plante, on voit que l'exportation se limite alors aux chiffres ci-dessous :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Richter's Imperator	112,30	27,87	183,80
Géante bleue	106,90	26,59	204,00
Red Skinned	114,00	21,72	195,50
Idaho	118,50	27,72	194,90
Institut de Beauvais	95,80	19,57	147,50
Charolaise	109,80	21,26	165,30
Chardon	107,10	34,19	202,60
Gelbe rose	122,00	23,63	173,20
Moyennes	110,80	25,31	183,35

En étudiant les chiffres qui précèdent, on est conduit à faire, au sujet des quantités de matières fertilisantes exigées par les grosses récoltes de pommes de terre, quelques observations intéressantes.

En ce qui concerne les quantités d'azote exportées par les tubercules, on reconnaît ainsi que ces quantités varient peu, quelle que soit la variété cultivée ; cette quantité, sauf deux exceptions (Institut de Beauvais = 95^{kg},88 et Gelbe rose = 122 kilogr.), reste généralement comprise entre 105 et 120 kilogr. à l'hectare.

L'exportation de l'acide phosphorique est relativement faible ; elle ne représente pas, en moyenne, plus de 25^{kg},31 à l'hectare et l'on peut se demander, par suite, si les grandes quantités de phosphate employées jusqu'ici par la culture et qui, généralement, représentent 100 ou 150 kilogr. d'acide phosphorique, sont réellement nécessaires. Mais, à ce sujet, il faut se garder de tirer une conclusion trop hâtive. La pratique jusqu'ici a semblé justifier cet emploi et l'on sait qu'en certaines circonstances on voit, par suite d'une influence encore inexpliquée, la présence des superphosphates, alors même que ceux-ci ne sont pas absorbés par les plantes, entraîner une utilisation plus importante des autres éléments fertilisants.

La consommation de la potasse par la pomme de terre est au contraire considérable ; les quantités qu'en exporte la récolte des tubercules sur un hectare s'élèvent en moyenne à 183 kilogr. Ce chiffre suffirait à montrer combien est grande l'influence des composés potassiques sur le développement de cette plante ; mais, en comparant entre eux les chiffres correspondant aux huit variétés étudiées, on trouve de cette influence une démonstration décisive.

D'une manière générale, en effet, et sans tenir compte de la richesse en fécule de récoltes obtenues en des années différentes et sous des conditions météorologiques différentes aussi, on peut considérer les quatre premières variétés : Richter's Imperator, Géante bleue, Red Skinned et Idaho comme des variétés à grande richesse, les quatre autres, Institut de Beauvais, Charolaise, Chardon et même Gelbe rose comme des variétés à richesse moyenne.

Or, on voit, d'après les résultats fournis par l'analyse, les premières consommer, par hectare et pour les tubercules seuls, 195 kilogr. de potasse en moyenne, tandis que pour les secondes, cette con-

sommation ne dépasse pas 172 kilogr. La différence est de 23 kilogr. par hectare. Et si, aux quantités exportées par les tubercules, on joint celles que l'analyse fait reconnaître dans les feuilles et dans les tiges, la différence devient plus marquée encore. C'est au chiffre moyen de 357 kilogr. par hectare que s'élève, pour les variétés à grande richesse, le poids de potasse nécessaire à la plante entière, alors que, pour les variétés à richesse moyenne, ce poids se limite à 306 kilogr. ; la différence est de 51 kilogr. par hectare.

L'influence des composés potassiques sur la richesse en fécule des pommes de terre, au sujet de laquelle on rencontre des opinions si opposées, me semble être définitivement établie par cette observation.

En terminant cette étude, il m'a semblé intéressant de comparer les dépenses en engrais qu'exige la culture de la pomme de terre à grand rendement et à grande richesse à celles auxquelles la culture de la betterave fourragère a, dès longtemps, habitué nos cultivateurs.

Des chiffres que MM. Muntz et Ant. Ch. Girard ont adoptés dans leur *Traité des engrais*, comme représentant la moyenne des observations faites par divers expérimentateurs sur la culture de la betterave fourragère, il résulte qu'une récolte de 50 000 kilogr. à l'hectare exporte par ses racines :

90 kilogr. d'azote,
40 — d'acide phosphorique,
215 — de potasse,

alors que, ainsi que je viens de l'établir, une récolte de 35 000 kilogr. de pomme de terre riche, de la variété Richter's Imperator, par exemple, exporte par ses tubercules, à l'hectare :

112^{kg},3 d'azote.
27 ,9 d'acide phosphorique.
183 ,8 de potasse.

Si, partant de ces données, on met en parallèle, d'un côté, une bonne récolte de 50 000 kilogr. de betterave fourragère, d'un autre,

une bonne récolte de 30 000 kilogr. de pomme de terre riche exportant par ses tubercules,

96^{kg},2 d'azote,
23 ,7 d'acide phosphorique,
157 ,4 de potasse,

on voit, qu'au point de vue de la dépense en engrais, la betterave a exigé, il est vrai, 6^{kg},2 d'azote en moins que la pomme de terre, mais a exigé aussi 16^{kg},3 d'acide phosphorique et 57^{kg},6 de potasse en plus que celle-ci.

Si, en face de ces dépenses, on considère les prix de vente de 50 000 kilogr. de betteraves à 16 fr. la tonne, soit 800 fr., et de 30 000 kilogr. de pommes de terre à 32 fr., soit 960 fr., d'où résulte une différence de 160 fr. à l'hectare, on est conduit à regarder, au point de vue des dépenses en engrais, la culture intensive de la pomme de terre riche et à grand rendement comme plus rémunératrice que celle de la betterave fourragère.

SUR LE DOSAGE

DE

LA QUANTITÉ DE BEURRE

CONTENU DANS LA MARGARINE

PAR MM.

Achille MÜNTZ

MEMBRE DE L'INSTITUT
PROFESSEUR-DIRECTEUR DES LABORATOIRES DE CHIMIE
A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

H. COUDON

CHEF ADJOINT DES TRAVAUX CHIMIQUES
A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

La recherche de la margarine dans le beurre a fait l'objet de nombreux travaux, qui ont abouti à la possibilité de reconnaître un mélange frauduleux, lorsqu'il est fait dans de certaines proportions. L'interdiction de toute addition de margarine au beurre permet, d'ailleurs, de regarder comme fraudés tous les beurres dans lesquels on a pu déceler la présence de la margarine, en quelque minime quantité que ce soit.

La nouvelle législation qui régit la fabrication et le commerce de la margarine oblige à chercher la solution d'un problème inverse, celui de la détermination du beurre dans la margarine. En effet, la loi du 10 avril 1897 autorise les fabricants de margarine à introduire du beurre dans les graisses comestibles qu'ils mettent en œuvre. Mais c'est dans une mesure strictement limitée que cette autorisation a été donnée, et le législateur a fixé à 10 p. 100 le maximum de

beurre qui peut exister dans les margarines, en y comprenant non seulement le beurre ajouté en nature, mais aussi celui qu'y apporte le lait incorporé en cours de fabrication.

Le problème, ici, se présente donc sous une forme différente. Il ne sert de rien de constater l'addition du beurre dans la margarine, puisque cette addition est autorisée dans une certaine proportion. Dans le cas présent, c'est une question de dosage qui doit intervenir, et l'analyse qualitative n'a pas sa raison d'être.

Il faut établir une méthode d'analyse quantitative, permettant de dire si un produit, vendu comme margarine, est bien dans les conditions fixées par la loi ; offrant une précision et une sûreté suffisantes pour permettre aux tribunaux de réprimer toute addition de beurre dépassant la limite assignée et donnant, d'un autre côté, aux producteurs de margarine qui se seront conformés strictement aux indications de la loi, toute garantie contre des résultats erronés de l'expertise et les condamnations qui pourraient en être la conséquence.

L'autorisation d'introduire une certaine quantité de beurre dans la margarine a eu pour objet de permettre à cette graisse alimentaire, qu'on doit d'ailleurs regarder comme offrant une ressource précieuse à l'alimentation publique, de se présenter au consommateur sous une forme plus agréable et de lui donner des qualités sapides qui font accepter ce produit plus facilement, tout en lui gardant son état de graisse, différente du beurre de vache.

Ce qui a porté le législateur à interdire l'introduction d'une plus forte proportion de beurre, c'est la crainte de voir, dans ces graisses, prédominer l'apparence et le goût du beurre naturel, au point de permettre la confusion des deux produits et de faire naître la possibilité d'une substitution de margarine, fortement mélangée de beurre, au beurre pur.

La détermination précise de la quantité introduite est donc un problème qui intéresse, au même degré, les tribunaux chargés de l'application de la loi et les industriels qui veulent se tenir dans les limites qui leur ont été fixées.

Pour retrouver le beurre et en déterminer la proportion, il était nécessaire de chercher son caractère le plus constant et celui qui, en

même temps, s'éloigne le plus des caractères des graisses qui constituent les margarines.

Il convient de rappeler que les margarines commerciales, quel que soit le nom sous lequel on les vend, sont essentiellement constituées par de la graisse de bovidés.

Le suif en branches est apporté de l'abattoir à l'usine encore tiède, il est séché rapidement puis fondu, après découpage et broyage, dans des cuves en sapin contenant de l'eau chauffée à 60 degrés environ par de la vapeur. La graisse limpide, décantée après dépôt, forme ce que l'on appelle les *premiers jus,* dont une partie est conservée en nature, tandis que l'autre sert à la préparation de l'*oléo,* qui se fabrique de la façon suivante :

Le premier jus est maintenu, pendant douze à vingt-quatre heures, dans des chambres chauffées à 38 degrés. La stéarine cristallise et l'oléine, ou oléo, qui reste liquide à cette température, est extraite par pression.

Cette *oléine,* ou *oléo,* ou encore *oléo-margarine,* est le principal constituant de la margarine. On lui adjoint d'autres graisses, dont la proportion varie suivant les saisons, de telle sorte que la consistance des produits fabriqués soit toujours à peu près la même.

Dans la période d'été, alors que la température est élevée, les margarines contiennent généralement de plus grandes quantités de graisses consistantes, premiers jus, destinées à empêcher leur ramollissement. Dans la période d'hiver, au contraire, par les temps froids, on y introduit des quantités plus élevées de graisses fluides, telles que l'oléo, les huiles végétales, qui les empêchent de durcir outre mesure.

Par cette pratique, on obtient un produit assez régulier, quant à la consistance, et qui se présente sous le même aspect, quelle que soit la température ambiante.

Ce qu'en terme commercial on appelle *oléo,* ou *oléo-margarine,* ne doit pas être confondu avec la *margarine proprement dite.* L'*oléo-margarine* est une graisse pure de bovidés, éther oléique de glycérine, d'un point de fusion de 29 à 33 degrés, sans mélange d'eau ni de lait, ne constituant pas une émulsion. Elle ne peut donc pas être regardée comme un succédané du beurre, auquel elle ne ressemble

nullement. Elle est la matière première de la fabrication de la margarine, dont elle constitue la majeure partie, comme il a été dit plus haut. Elle ne devient margarine que par son barattage avec du lait, qui la transforme en émulsion dont l'apparence se rapproche alors de celle du beurre.

Si la constitution chimique de ces diverses graisses était sensiblement différente, il y aurait de grandes difficultés pour le dosage du beurre dans la margarine. Mais, comme on va le voir, ces différences n'existent pas, ou sont tout au moins insignifiantes, de telle sorte que les résultats de l'analyse ne sont pas affectés par la substitution de ces graisses les unes aux autres, quelle qu'en soit la proportion.

Ce point est précieux à noter, car il fournit la base la plus sérieuse à la détermination quantitative du beurre introduit dans un mélange.

C'est ici le moment d'examiner quels sont les caractères constants des diverses graisses servant de base à la fabrication de la margarine, et en quoi leur constitution diffère de celle du beurre de vache.

Tous ces produits ont une propriété commune : ils sont constitués, en totalité, par des glycérides à acides gras fixes. Tout au plus peut-on y déceler une faible trace, à peu près toujours la même, de glycérides à acides volatils. Si l'on fait le dosage de ces derniers, on en trouvera donc toujours une très minime proportion, très sensiblement la même, soit qu'on opère sur ces corps gras séparés, soit qu'ils se présentent à l'état de mélange, plus ou moins complexe, et dans les proportions les plus variées. Voilà un caractère sur lequel on peut fonder une base solide de recherches.

Le beurre, au contraire, contient toujours une très notable proportion de glycérides à acides volatils et cette proportion, sans être invariable, est cependant comprise entre des limites assez rapprochées. La différence de teneur en acides volatils des graisses indiquées plus haut et du beurre naturel est à tel point considérable que la plus petite quantité de beurre introduite dans ces graisses augmente, dans une proportion frappante, leur teneur en acides volatils.

Ces principes étant exposés, nous allons décrire le procédé qu'il convient de suivre pour le dosage rigoureux des acides volatils contenus dans les graisses.

Description de la méthode.

Préparation de l'échantillon. — Les analyses ne doivent jamais être faites sur le produit en nature qui contient, outre la matière grasse proprement dite, des quantités variables d'eau. Cette eau provient du lait et de l'eau introduits dans la margarine, au cours de sa fabrication, et du beurre lui-même qui en apporte une certaine proportion.

Pour obtenir des résultats réguliers et constants, il convient d'éliminer cette eau et de ne considérer que la matière grasse elle-même, qui est le véritable constituant de la margarine.

Les résultats seront donc toujours rapportés, non au produit tel que le fournit le commerce, mais à la matière grasse qu'il renferme. De là, l'obligation de séparer cette matière grasse et de l'isoler de la solution aqueuse qui l'accompagne, ainsi que de la caséine qui s'y trouve mélangée.

C'est par la fusion et la filtration qu'il faut séparer la matière grasse. La margarine est introduite dans un verre à précipiter, qu'on place dans une étuve à 60 degrés. On la laisse fondre tranquillement, sans aucune agitation. Il se forme alors une couche huileuse qui surnage un liquide aqueux tenant en suspension de volumineux flocons de caséine. Quelques-uns de ces flocons nagent souvent à la surface de la margarine fondue.

La couche de graisse est soigneusement décantée sur un filtre, placé dans l'étuve même. On évite complètement l'entraînement, sur le filtre, des gouttelettes d'eau. On a ainsi séparé la matière grasse, et c'est sur celle-ci que doit porter l'analyse.

La graisse filtrée, encore liquide et rendue homogène par l'agitation, est introduite dans deux ou trois flacons bien propres et secs, qu'on remplit entièrement, qu'on bouche et qu'on conserve à l'abri de la lumière.

Ces précautions sont indispensables si l'on veut conserver la graisse

pendant un certain temps dans le but de vérifier les opérations ayant trait à son examen.

Dans les flacons, la matière se sépare ordinairement, par le refroidissement, en parties solides et en parties liquides. Quand on veut en prélever une partie pour l'examen, il faut lui rendre son homogénéité. On chauffe le flacon entre 40 et 50 degrés pour liquéfier toute la masse de l'échantillon et l'on agite alors vivement.

Saponification. — La saponification, en vue du dosage des acides gras volatils, se fait de la manière suivante :

Dans un verre cylindrique, à bec, d'un diamètre de $0^{m},05$ et d'une hauteur de $0^{m},07$ et qu'on tare sur le plateau d'une balance pouvant peser au milligramme, on introduit 5 gr. de graisse fondue et parfaitement homogène, à l'aide d'un tube étiré, et en évitant de faire tomber des gouttelettes sur la paroi intérieure. Elle doit, en effet, être réunie tout entière au fond du verre.

Avant que la graisse soit figée, on ajoute $2^{cc},5$ d'une solution concentrée de potasse, dont nous donnons la préparation plus loin. A l'aide d'un agitateur, on fait un mélange intime qui se transforme, presque aussitôt, en une émulsion épaisse. On continue à agiter pendant vingt minutes, afin de mettre toutes les particules de matière grasse en contact intime avec la potasse. La masse qui s'est échauffée et épaissie est portée à l'étuve à 40-50 degrés, et la saponification est complète lorsque la matière est devenue dure.

A cette masse de savon, on ajoute 80 centimètres cubes d'eau bouillante et l'on agite pour faire dissoudre, en plaçant le verre sur un bain de sable chaud.

On obtient un liquide limpide qu'on introduit dans le ballon à distillation, à l'aide d'un petit entonnoir. Ce ballon, d'une capacité de 350 à 400 centimètres cubes, a un col étiré par lequel on le relie à un réfrigérant ; on y a soudé, en outre, un tube permettant l'introduction de l'eau. Le verre et l'entonnoir sont lavés soigneusement avec de petites quantités d'eau bouillante, afin que le savon soit intégralement introduit dans le ballon.

Le volume total du liquide ne doit pas dépasser 100 centimètres cubes.

Mise en liberté des acides gras. — On met les acides gras en liberté en saturant la potasse par un acide énergique. Celui qu'il convient d'employer, c'est l'acide phosphorique, en raison de sa fixité.

Mais, pour éviter complètement tout entraînement d'acide phosphorique qui pourrait influer sur le titrage des acides gras volatils, il convient de n'employer l'acide phosphorique que dans la proportion nécessaire pour saturer la potasse, avec un très léger excès pour donner une réaction acide très nette.

Il faut donc mesurer l'acide phosphorique à employer.

Pour cela, on prend $2^{cc},5$ de la solution de potasse qui sert à la saponification, on les teinte par le tournesol et l'on détermine la quantité de solution d'acide phosphorique nécessaire pour obtenir une réaction faiblement, mais nettement acide. C'est cette même quantité qu'on emploie pour décomposer le savon contenu dans le ballon.

La solution d'acide phosphorique a d'ailleurs été préparée en dissolvant l'acide phosphorique sirupeux dans deux ou trois fois son volume d'eau.

L'addition de l'acide phosphorique a eu lieu dans le ballon à distiller où se trouve le savon; les acides gras mis en liberté forment alors des flocons laiteux.

Pour régulariser l'ébullition pendant la distillation, on ajoute, après l'acide phosphorique, quelques grains de pierre ponce.

Avant de procéder à la distillation des acides gras, il faut éliminer complètement l'acide carbonique que la potasse aurait pu absorber au cours des opérations. On sait, en effet, que cet acide carbonique fausserait les titrages. Pour l'enlever, on soumet au vide, dans le ballon même, le mélange rendu acide par l'acide phosphorique. On maintient le vide pendant dix à quinze minutes, à froid, en agitant pour faciliter le départ de l'acide carbonique.

Distillation des acides gras. — On attelle le ballon au réfrigérant, en le plaçant lui-même dans un bain de chlorure de calcium d'une concentration telle qu'il marque à l'ébullition environ 120 degrés. Un récipient rempli d'eau est, d'ailleurs, disposé pour maintenir constant le niveau du bain de chlorure.

Le produit de la distillation, condensé par le réfrigérant, se déverse sur un petit filtre en papier Berzélius qui a été préalablement mouillé par de l'eau et qui est placé sur une carafe jaugée de 400 centimètres cubes.

Ce filtre est destiné à retenir les acides insolubles dans l'eau, qui sont entraînés dans le cours de la distillation.

On sépare ainsi le produit distillé en deux fractions :

1° Les acides solubles dans l'eau qui comprennent, presque exclusivement, l'acide butyrique et l'acide caproïque ;

2° Les acides insolubles dans l'eau qui, arrosés constamment par le liquide aqueux condensé, de moins en moins chargé d'acides solubles, sont dépouillés, par ce lavage méthodique, des acides solubles qu'ils pouvaient retenir.

Ceci étant dit par anticipation, voici comment on conduit la distillation :

Le bain de chlorure de calcium étant maintenu à l'ébullition, on laisse d'abord distiller presque entièrement les 100 centimètres cubes qui avaient servi à dissoudre le savon et à opérer les lavages. Quand il ne reste plus dans le ballon qu'environ 5 centimètres cubes d'eau, ce qu'il est très facile de voir, on ajoute par la tubulure latérale, qui porte un caoutchouc et une pince, et à l'aide d'une pipette graduée, environ 20 centimètres cubes d'eau bouillante.

Le bout étiré de la pipette est au préalable introduit dans le tube de caoutchouc ; on ouvre ensuite la pince et on laisse s'écouler le liquide jusqu'à la partie inférieure de la pipette, en fermant la pince avant que l'écoulement soit complet.

De cette façon, le contenu du ballon n'est jamais en communication avec l'air extérieur, et aucun dégagement de vapeurs acides ne peut se produire.

Lorsque le liquide aqueux dans le ballon a de nouveau atteint un volume d'environ 5 centimètres cubes, on répète cette addition de 20 centimètres cubes d'eau, et cela jusqu'à ce que le volume du liquide recueilli soit de 400 centimètres cubes.

L'opération dure près de cinq heures ; on peut en conduire huit ou dix à la fois.

Il est indispensable d'opérer ces introductions d'eau en se servant

d'eau distillée préalablement bouillie et ainsi débarrassée d'acide carbonique.

L'appareil doit être disposé de telle façon qu'aucune trace de chlorure de calcium du bain ne puisse s'introduire dans le ballon.

On a ainsi recueilli : dans la carafe, 400 centimètres cubes d'eau renfermant les acides gras volatils solubles ; sur le filtre, des acides volatils insolubles qui se présentent sous forme de gouttelettes huileuses, ou sous celle d'un magma volumineux dans lequel l'eau entre pour la plus grande partie.

Titrage des acides volatils solubles. — Le liquide qui a été recueilli et que le filtre a débarrassé des acides insolubles est souvent un peu opalescent, ce qui est dû à des traces d'acides gras insolubles qui ont été entraînés. Il n'y a pas lieu de se préoccuper de cette opalescence et l'on procède au titrage par de l'eau de chaux.

L'indice du virage est la phtaléine de phénol, dont on fait une solution à 1 p. 100 dans l'alcool ; dix gouttes suffisent pour le volume recueilli.

On titre avec l'eau de chaux contenue dans une burette graduée. On s'arrête dès que la coloration rose apparaît dans toute la masse du liquide, bien agité, et persiste pendant quelques secondes.

On lit alors le volume d'eau de chaux versé et l'on exprime les acides volatils en acide sulfurique monohydraté, le titre de l'eau de chaux ayant été pris avec de l'acide sulfurique titré.

Préparation de la solution de potasse. — Pour que ce mode opératoire réussisse complètement, il faut opérer avec une solution de potasse très concentrée et débarrassée de sels potassiques.

On emploie la potasse purifiée par la dissolution dans l'alcool, exempte ainsi de carbonate et de sulfate. Ce produit se trouve dans le commerce sous le nom de *potasse à l'alcool.*

On en fait une dissolution saturée à la température de 20 degrés ; comme les produits commerciaux sont plus ou moins secs, on opère de la façon suivante :

Environ 120 gr. de potasse sont dissous, à l'abri de l'air, par de

l'eau chaude ajoutée par petites quantités, de telle façon que le volume final de la dissolution encore tiède ne dépasse pas 100 centimètres cubes. Cette solution est, dans tous les cas, assez concentrée. Si elle venait à cristalliser par le refroidissement, on redissoudrait en chauffant au bain-marie et l'on ajouterait de petites quantités d'eau jusqu'à ce que toute la potasse reste dissoute à la température d'environ 20 degrés et commence à former un dépôt cristallin au-dessous de cette température.

On a ainsi une dissolution de potasse dont l'action sur les matières grasses du beurre et des produits qu'on y introduit frauduleusement est extrêmement rapide.

Résultats du dosage des acides volatils dans les matières premières.

Le mode opératoire étant ainsi rigoureusement fixé, voyons les résultats qu'il donne quand on l'applique aux graisses de diverse nature, aux huiles, au beurre, c'est-à-dire à toutes les substances qui entrent dans la constitution de la margarine. Nous verrons ensuite comment ce procédé peut servir à la détermination exacte de la quantité de beurre introduite dans les graisses comestibles.

Pour simplifier les calculs et avoir un point de comparaison absolu, nous avons exprimé les quantités d'acides volatils dosés en acide sulfurique monohydraté, en rapportant à cent parties de matière grasse fondue et filtrée :

Oléo (diverses provenances)	1er échantillon	0gr,034
	2e échantillon	0 ,047
	3e échantillon	0 ,060
Premiers jus (diverses provenances)	1er échantillon	0 ,047
	2e échantillon	0 ,064
	3e échantillon	0 ,069
Neutral (saindoux)		0 ,043
Huiles	sésame	0 ,038
	coton	0 ,039
	arachide	0 ,043
Beurre		3 ,305

Ce qui distingue très nettement les divers produits qui entrent dans la constitution de la margarine, du beurre naturel, c'est l'absence presque complète de glycérides à acides volatils dans les premiers. Aussi les titrages de ces acides volatils donneront-ils, pour tous ces produits, un chiffre extrêmement bas formant en quelque sorte une constante.

Le beurre, au contraire, contient ces glycérides à acides volatils en très forte proportion. La plus faible introduction de beurre dans les diverses graisses, ou dans leur mélange, augmentera donc très notablement les dosages des acides volatils et permettra d'en déterminer la quantité.

Les glycérides à acides volatils contenus dans les beurres ne sont pas en proportions tout à fait constantes, mais il y a tout au moins une constance relative, et ce n'est que dans les cas exceptionnels que cette méthode pourra donner quelques incertitudes. Encore celles-ci ne seront-elles pas assez grandes pour empêcher de reconnaître si le beurre est bien dans les limites qui lui sont assignées.

Le dosage des acides volatils est donc une opération qui permet de déterminer la quantité de beurre introduit dans la margarine.

Pour fixer les idées, admettons pour la moyenne des acides volatils contenus dans les graisses et les huiles le chiffre de $0^{gr},050$, et ajoutons seulement 1 p. 100 de beurre, donnant par exemple $3^{gr},305$ d'acides volatils. Cette faible addition de 1 p. 100 augmentera de $0^{gr},033$, c'est-à-dire fera presque doubler la quantité d'acides volatils existant primitivement dans ces graisses et ne pourra pas passer inaperçue.

Ces différences augmenteront progressivement et proportionnellement avec l'addition de beurre. Pour une addition de 5 p. 100, par exemple, on trouvera dans la margarine $0^{gr},215$ au lieu de $0^{gr},050$, et pour 10 p. 100 de beurre on aura $0^{gr},380$ au lieu de $0^{gr},050$. On voit que les écarts sont très considérables et que le procédé est susceptible d'une précision largement suffisante pour déterminer le beurre ajouté aux margarines.

Donnons quelques exemples de dosages effectués sur des mélan-

ges, d'un titre connu, provenant de diverses usines de margarine :

	BEURRE introduit.	BEURRE retrouvé à l'analyse.
	— p. 100	— p. 100
Oléo-lait	4 8	4 1 7.4
Dansk.	4 8	5.3 8.8
Margarine P	4 8	4.7 9.0
Margarine G. P.	4 8	4.9 9.8

Les beurres ajoutés l'ont été en plus de celui qui a été introduit par le lait au cours du barattage. Cette quantité de beurre ainsi introduite, en plus du beurre en nature, est ordinairement comprise entre 1 et 1.5 p. 100. On voit donc qu'on a pu retrouver, à 1 p. 100 près, et même le plus souvent à 1/2 p. 100 près, la quantité de beurre qui avait été ajoutée à la margarine.

Et, s'il existe quelques faibles différences entre les résultats de l'analyse et les indications fournies par les fabricants, cela tient certainement plus à des inégalités dans la richesse du lait en beurre et à des incertitudes dans les pesées du beurre ajouté en nature, qu'à des imperfections dans la méthode de dosage, qui offre une grande sûreté.

Nous avons demandé à une fabrique de margarine de préparer avec soin des mélanges de margarine et de beurre, en proportions variées, et, sans connaître ces quantités, nous avons retrouvé les résultats suivants (matière employée : 5 gr.) :

DÉSIGNATION.	EAU de chaux versée[1].	ACIDE SULFURIQUE CORRESPONDANT à l'eau de chaux.	aux acides volatils des graisses.	aux acides volatils du beurre.	aux acides volatils de 100 gr. de margarine.	BEURRE total dans 100 gr. de margarine.
—	— cent. cubes	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— gr.	— gr.
N° 1 . .	2,0	4,32	2,2	2,12	0.0424	1,26
N° 2 . .	8,1	17,50	2,2	15,30	0,3060	9,11
N° 3 . .	13,7	29,59	2,2	27,39	0,5478	16,31
N° 4 . .	9,6	20,74	2,2	18,54	0,3708	11,04
N° 5 . .	8,2	17,71	2,2	15,51	0,3102	9,24
N° 6 . .	3,5	7,56	2,2	5,36	0,1072	3,19
N° 7 . .	9,6	20,74	2,2	18,54	0,3708	11,04

1. Titre de l'eau de chaux : 1 centimètre cube correspond à $2^{mgr},16$ de SO^3HO.

Si l'on retranche des quantités de beurre total trouvées à l'analyse la quantité de beurre que le lait apporte normalement, c'est-à-dire 1.4 p. 100 de margarine, nous aurons ainsi les résultats suivants, la première colonne donnant les quantités de beurre ajoutées par le fabricant et communiquées seulement après l'analyse, la seconde donnant les proportions de beurre trouvées par l'analyse, déduction faite de celui apporté par le lait :

	BEURRE	
	ajouté à 100 de margarine.	retrouvé par l'analyse.
	—	—
N° 1	0	0.00
N° 2	8	7.71
N° 3	15	14.91
N° 4	10	9.64
N° 5	8	7.84
N° 6	2	1.79
N° 7	10	9.64

D'autres méthodes de recherches, telles que la détermination de l'indice de saponification et celle de la température critique de solubilité dans l'alcool ont été essayées. Aucune n'a donné des résultats approchant, comme sûreté et comme sensibilité, de ceux fournis par la détermination des acides volatils, qui est un moyen offrant toute garantie et une précision largement suffisante.

Le procédé de dosage du beurre contenu dans la margarine étant ainsi établi, il convient d'interpréter les résultats qu'il fournit en vue de savoir si réellement une margarine ne contient pas plus de 10 p. 100 de beurre, c'est-à-dire si elle se trouve dans les conditions exigées par la loi, ou si elle dépasse la limite fixée et constitue alors un mélange frauduleux.

Tout d'abord, il convient de dire que les fabricants de margarine n'auraient aucun intérêt à ajouter de petites quantités de beurre en plus de celles qui sont tolérées.

En effet, une surcharge, fût-elle de 5 à 10 p. 100, ne pourrait pas faire ressembler la margarine à du beurre et le produit ne se vendrait donc que comme margarine. Ce n'est que dans le cas de l'introduction d'une quantité de beurre assez notable pour pouvoir

faire naître une confusion entre les deux produits, que le fabricant aurait avantage à faire cette opération frauduleuse.

Dans la recherche de la fraude, on peut donc admettre une petite tolérance, au-dessus du chiffre de 10 p. 100, tant à cause de quelques incertitudes de dosage, que de la composition variable du lait introduit dans la margarine et qui a pu apporter, tantôt un peu plus, tantôt un peu moins de beurre. Mais cette tolérance ne doit point dépasser 3 à 4 p. 100. C'est une marge suffisante pour donner toute garantie au fabricant, et en même temps assez faible pour permettre aux tribunaux d'appliquer la loi dans tous les cas où elle aura été violée.

La méthode d'analyse étant délicate et d'ailleurs les pénalités étant élevées, il conviendra de ne confier ces expertises qu'à des chimistes familiarisés avec l'étude des corps gras, suivant en cela ce qui a été fait pour l'analyse des beurres.

Il serait d'ailleurs à souhaiter que toutes les mesures adoptées par les pouvoirs publics pour la recherche de la margarine dans le beurre le fussent également pour le dosage du beurre dans la margarine. Les dispositions législatives auraient alors une unité qui rendrait plus facile et plus certaine la recherche de la fraude du beurre, ainsi que des graisses alimentaires qui, sous le nom de « margarine », peuvent être considérées comme ses succédanés.

CONTRIBUTION

A

L'ÉTUDE DU VANILLIER

Par L. GRANDEAU

Les conditions d'alimentation des orchidées sont encore très imparfaitement connues ; on sait peu de choses sur leurs exigences en matières nutritives et, par conséquent, sur la nature et sur les quantités d'engrais qu'il convient de leur donner.

M. A. de Villèle, secrétaire de la Chambre d'agriculture et du Comice central agricole de Saint-Denis (île de la Réunion), m'a fait l'honneur de me consulter l'année dernière sur la fumure qu'il conviendrait d'appliquer aux plantations du vanillier afin d'accroître leurs rendements. L'insuffisance de documents sur la composition chimique de cette précieuse orchidée m'a engagé à demander à M. de Villèle de me procurer les éléments d'une étude, aussi complète que possible, sur la composition des diverses parties de la plante, étude qui pût servir de point de départ à des essais de fumure. Nous avons examiné et analysé au laboratoire de la Station agronomique de l'Est, M. E. Bartmann et moi, des échantillons du sol, des racines, feuilles, tiges et gousses de vanillier, ainsi que les détritus de filaos (*Casuarina equisetifolia*) et des feuilles de l'Hydrocotyle asiatique, seuls engrais que les vanilliers reçoivent, jusqu'ici, à l'île

de la Réunion. Les résultats de cette étude m'ont permis de fournir à M. de Villèle quelques indications sur les exigences du vanillier et sur la nature des engrais minéraux qu'il y a lieu d'expérimenter dans les sols de la Réunion.

L'examen chimique fait au laboratoire de la Station agronomique de l'Est a porté sur les substances suivantes qui m'ont été expédiées par M. A. de Villèle :

1° Racines, feuilles, tiges et gousses de vanilliers ;

2° Sols de vanillières de deux ans et quatre ans d'âge ;

3° Détritus servant de fumure. Casuarina et Hydrocotyle.

En comparant la composition de ces diverses matières, il est possible de déduire de leur rapprochement quelques indications utiles aux planteurs et d'y trouver un point de départ pour des recherches ultérieures.

I. — Composition du vanillier.

Pour pouvoir fixer, par un calcul exact, les quantités de principes minéraux nécessaires à la croissance annuelle du vanillier, afin d'en déduire la nature et le poids des engrais à fournir tous les ans à une plantation, il faudrait, au préalable, connaître l'importance des prélèvements de la récolte annuelle et pour cela le poids dont s'accroît dans l'année la liane et ses feuilles, le taux de substance sèche produite et la teneur de cette dernière en chacun des principes minéraux importants. Les éléments de ces déterminations nous ont fait défaut en partie et c'est à l'analyse de la matière sèche que nous avons dû borner notre examen. En partant des chiffres que je vais résumer, le planteur pourra, suivant l'état de ses vanilliers, calculer aisément les emprunts faits par eux au sol. Pour cela, il lui suffira de se rendre compte par des essais qui ne peuvent être faits que sur place : 1° de la quantité de liane produite annuellement ; 2° de sa teneur en eau (par dessiccation complète de la plante) ; 3° du poids des gousses récoltées. Appliquant ensuite aux chiffres que lui donneront ces diverses opérations les nombres fournis par l'analyse de la substance sèche des feuilles, de la tige de la liane et des gousses, il arri-

vera, en tenant compte du nombre de pieds de vanilliers à l'are ou à l'hectare, à se faire une idée approchée des exigences minérales d'une plantation de surface connue et, par suite, de la fumure à lui donner.

D'après les observations de M. A. de Villèle, suivant l'état de vigueur des vanilliers, l'accroissement annuel en poids de la liane avec ses feuilles oscillerait autour des chiffres suivants :

Vanilliers vigoureux	1 kilogr. à $1^{kg},400$
Vanilliers moyens	$0^{kg},300$ à $0^{kg},425$
Vanilliers faibles	$0^{kg},180$ à $0^{kg},200$

Les gourmands, qui servent de boutures, ne sont pas compris dans ces chiffres : leur poids diminue avec l'âge du vanillier. M. de Villèle l'évalue à 20 gr. par pied pour des vanilliers de deux ans et à 10 gr. pour des lianes de cinq ans ; mais il pense que ces poids pourraient aisément doubler dans de bonnes conditions d'entretien de la plantation. M. A. Delteil a assigné aux tiges et feuilles du vanillier la composition générale suivante :

Eau	90.00
Ligneux[1]	8.83
Cendres.	1.17
	100.00

Dans l'impossibilité de déterminer directement la teneur initiale en eau des échantillons de lianes et feuilles dont le poids au moment de la récolte ne nous était pas connu, nous avons dû nous borner à les dessécher complètement à l'étuve (vers 100°) et à faire l'analyse de la substance sèche ainsi obtenue.

100 parties de racines, de tiges, de feuilles et de gousses nous ont donné les quantités de substance organique et minérale inscrites dans le tableau ci-dessous. Les poids d'azote, acide phos-

1. Il entend par là l'ensemble des matières combustibles.

phorique, etc., décelés par l'analyse sont également rapportés à 100 gr. de substance sèche.

	RACINES.	TIGES.	FEUILLES.	FRUITS.
Matières organiques . . .	93.73	91.53	84.32	89.69
— minérales . .	6.27	8.47	15.68	10 31
	100.00	100.00	100.00	100.00
Azote.	1.340	0.758	1.181	1.759
Acide phosphorique . . .	0.221	0.187	0.347	0.453
Potasse.	0.186	1.166	1.668	2.513
Soude.	0.248	0.617	0.284	0.153
Chaux	0.966	2.191	0.072	1.449
Magnésie	0.358	1.372	2.438	0.735
Peroxyde de fer et alumine.	1.403	0.322	0.278	0.347
Acide sulfurique	0.153	0.151	traces.	0.073
Chlore	0.270	0.610	0.872	1.231

Pour rendre plus sensibles les relations existant entre les quantités de chacune des matières minérales qui entrent dans la constitution des diverses parties du vanillier, j'indique ci-dessous la composition centésimale des cendres des tiges, des feuilles et des gousses, en leurs éléments essentiels.

100 gr. de cendres renferment :

	TIGES.	FEUILLES.	GOUSSES.
	gr.	gr.	gr.
Acide phosphorique. .	2,207	2,213	4,200
Potasse.	13,759	10,637	24,374
Soude	7,281	1,811	1,484
Chaux.	25,853	38,720	14,054
Magnésie.	16,190	15,547	7,127
Chlore.	0,721	0,556	1,194
Acide sulfurique . . .	0,188	traces.	0,708

La potasse et la chaux sont, d'après cela, les éléments dominants des cendres du vanillier ; la potasse s'accumule dans la gousse et la chaux atteint son chiffre maximum dans les feuilles. Un fait intéressant à noter est la teneur élevée en chlore. M. A. Delteil, qui l'avait déjà constatée, rappelle à ce sujet l'observation d'Aublet, à savoir que les plus belles vanilles de la Guyane se rencontrent au bord des criques, dans les terrains saumâtres et baignés d'eau salée. Il y a

dans la présence de cette quantité de chlore une indication dont on doit tenir compte dans le choix de la fumure potassique. Le chlorure de potassium sera employé de préférence au sulfate de potasse, la teneur du vanillier en acide sulfurique étant de beaucoup inférieure à celle du chlore.

MM. Truffault et Hébert ont publié récemment un intéressant travail sur les orchidées [1]. Voici, à titre de comparaison, la composition que leurs analyses assignent au *Cattleya labiata autumnalis* d'importation directe du Brésil, en 1891, et à la même plante dégénérée en serre (1897).

100 parties de la plante entière renferment :

	CATTLEYA EN 1891.	CATTLEYA EN 1897.
Eau	90.88	94.00
Substance sèche	9.12	6.00
	100.00	100.00
Azote	1.21	0.87

100 parties de substance sèche contiennent :

Matières combustibles	95.45	94.58
Cendres	4.55	5.42
	100.00	100.00

100 parties de cendres renferment :

Potasse	25.00	11.46
Chaux	38.00	27.07
Magnésie	7.04	4.60
Acide phosphorique	1.92	2.01

A la dégénérescence de cette orchidée correspond, on le voit, un abaissement très notable dans la teneur de la plante en azote, en potasse, en chaux et en magnésie. La conclusion que MM. Truffault et Hébert tirent de ces analyses est la nécessité de fumer directe-

1. *De la dégénérescence de certaines espèces d'Orchidées,* Journal de la Société nationale d'Horticulture de France, 1897.

ment les orchidées pour leur donner les matières minérales qu'elles ne peuvent se procurer qu'en quantités tout à fait insuffisantes dans l'humus des troncs d'arbres où elles végètent dans nos serres. J'ai moi-même émis cette opinion il y a quelques années déjà[1] en appelant l'attention des horticulteurs sur la fumure minérale appliquée avec succès par M. Roman, dans ses belles cultures d'orchidées de Périgueux.

La conclusion qui se dégage de l'ensemble des analyses précédentes est que les plantations de vanilliers ont besoin, comme toutes les cultures, de trouver dans le milieu où elles croissent une alimentation minérale appropriée et assez abondante pour suffire à une production rémunératrice. Avant d'examiner les moyens pratiques d'atteindre ce but, je donnerai quelques indications sur la composition du sol de deux vanillières que m'a envoyé M. de Villèle et sur la fumure naturelle que le filaos leur fournit, à la Réunion.

II. — Composition du sol des vanillières.

Les deux sols que nous avons analysés provenaient : le n° 1, d'une plantation de vanilliers âgés de quatre ans ; le n° 2, d'une plantation de deux ans seulement.

L'analyse physico-chimique de ces deux terres a donné les résultats suivants :

	SOL N° 1.	SOL N° 2.
	p. 100.	p. 100.
Argile	24.30	19.60
Sable siliceux	65.40	70.20
Calcaire	néant.	néant.
Humus	traces.	traces.
Eau et matières non dosées	10.30	10.20
Totaux	100.00	100.00

Ces terres franchement argileuses sont, comme la plupart des sols de l'île de la Réunion que j'ai eu l'occasion d'analyser jusqu'ici, dépourvues de l'élément calcaire si favorable à toute végétation. Le

1. *La fumure des champs et des jardins*, 1re édition, 1893.

sous-sol est formé d'argile compacte dans laquelle ne peuvent s'introduire les racines des lianes. Celles-ci, dans l'état naturel, c'est-à-dire en dehors de tout apport d'engrais, ne peuvent donc trouver leur nourriture que dans la couche superficielle de la plantation et dans les détritus des feuilles des arbres qui leur servent de tuteurs (filaos et hydrocotyle) dont j'indiquerai plus loin la composition.

L'analyse chimique des deux sols a été exécutée sur la terre fine passant au tamis de 1 millimètre d'écartement de maille. Au cas particulier, la terre fine n'était autre que la terre brute envoyée par M. de Villèle, celle-ci ne renfermant aucun caillou et tous ses grains passant au tamis que je viens d'indiquer.

Cette analyse a donné les résultats suivants :

	SOL N° 1.	SOL N° 2.
	p. 100.	p. 100.
Azote	0.188	0.154
Acide phosphorique	0.184	0.279
Potasse	0.017	0.028
Chaux	traces.	traces.
Magnésie	0 150	0 300
Acide sulfurique	»	»
Oxyde de fer et alumine	21.140	24.860
Silicates insolubles	55.360	50.360

Ces deux terres présentent de grandes analogies dans leur composition chimique ; elles sont toutes deux assez abondamment pourvues en azote et en acide phosphorique, très pauvres en potasse et manquent presque complètement de chaux.

Elles semblent donc peu propices à la culture du vanillier si exigeant, comme nous l'avons vu, en potasse et en chaux, et l'on pourrait même s'étonner que cette liane ne se refuse pas à y végéter. C'est sans nul doute la fumure naturelle résultant de l'accumulation sur le sol des détritus des feuilles, graines et brindilles du casuarina et de l'hydrocotyle, qui est la principale, pour ne pas dire l'unique source d'alimentation du vanillier dans un sol aussi mal pourvu de deux des principes nutritifs essentiels : potasse et chaux.

La composition de ces détritus et la quantité relativement élevée qui s'en accumule à la surface du sol semblent confirmer cette hy-

pothèse, mais cela ne doit pas faire négliger l'apport direct de fumures minérales si l'on veut placer les vanilliers dans de bonnes conditions de production.

III. — Composition des débris de filaos et d'hydrocotyle asiatique.

Le mélange des feuilles, des graines, des brindilles, racines, etc., que m'a envoyé M. de Villèle a été séché, sans triage préalable, à l'étuve à 100°, puis broyé au moulin Aimé Girard, tamisé et analysé.

Ce mélange renfermait pour 100 parties:

Eau	9.50
Matières organiques	61.25
Matières minérales	29.25
	100.00

100 gr. de détritus à l'état naturel (non desséchés) contenaient :

Azote	0gr,706
Acide phosphorique	0 ,213
Potasse	0 ,106
Chaux	1 ,275
Magnésie	0 ,420

Si l'on en excepte l'azote, cette composition se rapprocherait de celle d'une terre de bonne qualité. Pour apprécier l'importance des apports que les détritus font au sol, il est nécessaire de tenir compte de la quantité qui recouvre un hectare de terre. Voici les chiffres que M. de Villèle m'a communiqués à ce sujet. Les tuteurs fournissent environ 15 800 kilogr. de détritus à l'hectare qui porte 2 900 vanilliers. Si l'on applique à cette quantité de détritus la composition que nous avons trouvée à l'échantillon analysé, on constate que, de ce chef, la couverture du sol renfermerait les quantités suivantes des principaux éléments de fertilisation, quantités qui, divisées par le nombre des lianes, correspondent pour chacune d'elles au poids inscrit dans le tableau suivant:

15 800 kilogr. de détritus renferment :

Azote	111kg,8
Acide phosphorique	33 ,6
Potasse	16 ,7
Chaux	221 ,4
Magnésie	66 ,4

Soit par pied de liane :

Azote	38gr,9
Acide phosphorique	11 ,6
Potasse	5 ,7
Chaux.	73 ,0
Magnésie.	22 ,8

Ces quantités de matières minérales ne sont à coup sûr pas négligeables ; mais si l'on tient compte des faits suivants : 1° lenteur de la décomposition totale de ces détritus, nécessaire, suivant toutes probabilités, pour que les matériaux minéraux qu'ils renferment soient assimilés par la plante ; 2° absence de calcaire dans le sol, d'où résulte une faible nitrification des matières azotées ; 3° pauvreté relative de ces détritus en potasse — il semble qu'on doit être conduit à fumer directement les plantations de vanilliers. Ici l'expérience du reste est nécessaire pour se prononcer sur le meilleur choix d'engrais à faire.

IV. — Fumures à essayer pour le vanillier.

Pour cette culture, comme pour celle de la canne à sucre, du caféier, etc., dans les sols siliceux et argilo-siliceux de l'île de la Réunion, l'introduction de chaux dans le sol me paraît être la première opération qui s'impose.

On peut la réaliser de plusieurs manières et notamment en recourant, soit à l'épandage à haute dose de sables calcaires (90 p. 100 de carbonate de chaux), tels que ceux que M. de Villèle m'a prié d'analyser ; soit, mieux encore, par l'emploi de scories de déphosphoration qui ont l'avantage d'apporter au sol, en même temps que l'acide phosphorique, environ moitié de leur poids de chaux très

efficace pour l'alimentation de la plante et pour la nitrification de l'azote.

L'extrême pauvreté de ces terres en potasse, fait assez fréquent aussi à la Réunion, implique l'emploi d'engrais potassiques et, de préférence, celui du chlorure de potassium, à raison des exigences du vanillier en chlore.

Il me semble donc qu'il y a lieu d'expérimenter dans des sols d'une composition analogue à celle des terres que m'a soumis M. de Villèle, l'action des engrais commerciaux suivants :

Scories de déphosphoration. .	1 000 kilogr. à l'hectare.		Fumure à renouveler tous les 4 ans.
Ou sables calcaires.	2 000	—	
Chlorure de potassium . . .	500	—	
Nitrate de soude.	200 à 250	—	(Annuellement.)

L'expérience viendra montrer si de l'emploi de ces engrais résulte un accroissement notable dans la production de la vanille ; je crois, en tous cas, que ces fumures minérales auront pour résultat d'augmenter la résistance des vanilliers aux affections parasitaires.

J'émets sous toutes réserves ces indications relatives à la fumure. Je n'ai pas de notions suffisantes sur le mode de nutrition des orchidées pour oser être affirmatif sur le résultat d'essais qui me semblent pourtant devoir être tentés.

Les analyses des tiges et des feuilles du vanillier montrent que cette liane a de grandes exigences en potasse et en chaux, mais les engrais que je viens d'indiquer ne sont pas les seuls qu'il y ait lieu d'expérimenter pour la fumure des vanilliers.

Les engrais concentrés solubles me paraissent appelés à rendre les plus grands services à nos colonies, leur emploi diminuant, dans de larges proportions, le coût des fumures, à raison de leur concentration.

La préparation de ces engrais est devenue industrielle depuis quelques années : en supprimant les matières inertes ou peu utiles à la végétation que renferment nécessairement la plupart des engrais commerciaux, on diminue d'autant le prix du transport, ce qui, pour les longues distances qui séparent les lieux de production des territoires où les engrais sont appliqués, permet de réaliser une

sérieuse économie dans les prix de revient des matières fertilisantes.

Les engrais concentrés que les usines H. Albert de Biebrich-sur-le-Rhin et d'Engis, en Belgique, livrent à l'agriculture me semblent tout indiqués pour la fumure des vanilliers.

L'engrais H. Albert renferme, par 100 kilogr., 14 kilogr. d'acide phosphorique, 29 kilogr. de potasse et 12 kilogr. d'azote. Ces trois principes fertilisants se trouvent dans l'engrais, à l'état soluble dans l'eau, ce qui permet de les employer en arrosage et de les distribuer très également aux végétaux. On peut, en outre, en faisant varier les proportions des quatre sels qui constituent l'engrais dit pour jardins (*Gartendünger*), modifier, suivant les indications de l'expérience, les quantités de chacun des éléments fertilisants. Le mélange qui correspond aux quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse que je viens d'indiquer est constitué par l'association des quatre substances suivantes :

Phosphate d'ammoniaque . . .	28 à 30 kilogr.[1]
Nitrate de potasse	44 à 45 —
Nitrate de soude.	15 à 16 —
Sulfate d'ammoniaque.	10 à 11 —

L'engrais concentré peut être employé de deux manières : à l'état solide ou en dissolution dans l'eau, suivant les conditions climatologiques. Dans le premier cas, on répand 500 kilogr. de ce mélange (par hectare), on sème l'engrais aussi régulièrement que possible sur le sol et on l'enfouit légèrement au râteau.

Pour les vanilliers, le second procédé serait sans doute préférable. Il consisterait à dissoudre 250 gr. du mélange dans un hectolitre d'eau et à arroser le sol avec cette dissolution à raison de 20 litres par mètre carré. Je ne puis donner ici qu'une indication générale des essais à faire ; l'expérience montrerait sans doute bien vite dans quelles proportions il conviendrait de faire varier la quantité d'engrais et sa dilution dans l'eau, suivant l'âge et l'état de la

1. Pris à l'usine de Biebrich-sur-le-Rhin, les 100 kilogr. de ce mélange coûtent environ 50 fr.

plantation du vanillier. Il me semble que ces essais méritent d'être tentés. L'emploi des engrais concentrés ne dispenserait pas de l'apport direct de calcaire aux sols qui en manqueraient.

J'ajouterai, en terminant, une remarque qui me paraît utile. Les analyses des tiges et des feuilles du vanillier montrent que cette liane a de grandes exigences en principes minéraux et notamment en potasse et en chaux, mais il ne faut pas oublier que la majeure partie des matières empruntées au sol par le vanillier n'est pas exportée par la récolte. En effet, si l'on admet une récolte moyenne de 225 kilogr. de gousses à l'hectare et qu'on rapporte à cette récolte les chiffres fournis par l'analyse des gousses, on constate que l'exportation des matières minérales est, en définitive, extrêmement faible, car elle ne dépasse pas les poids suivants d'azote, de potasse, etc.

220 à 225 kilogr. de gousses contiennent :

Potasse	6 kilogr. environ.
Azote.	4 —
Acide phosphorique	1 —
Chaux	3 —
Magnésie	$1^{kg},600$ environ.

Quantités infimes si on les compare à celles qu'emportent les récoltes de céréales, de cannes à sucre, etc.

Conclusion. — Si incomplètes que soient les observations qui précèdent, elles me paraissent cependant conduire à cette conclusion qu'il y a lieu d'étudier expérimentalement la fumure des vanilliers, dans le double but de donner aux plantes une résistance plus grande aux maladies parasitaires et d'augmenter le rendement de la précieuse orchidée.

STATION AGRONOMIQUE DE L'ILE MAURICE

RAPPORT

SUR LES TRAVAUX DE 1896[1]

Par M. P. BONÂME

DIRECTEUR DE LA STATION

I. — Météorologie.

Baromètre. — Les observations sont faites à 10 heures du matin et la pression réduite à 0°; altitude du baromètre, 1 030 pieds.

La moyenne annuelle à 10 heures du matin est de 737^{mm},8 au lieu de 737,9 pour l'année dernière, c'est-à-dire légèrement supérieure. Les observations extrêmes présentent une assez grande variation, l'amplitude totale étant de 25^{mm},9 à 10 heures du matin et variant de 717,6 le 20 février à 744,5 le 22 juillet. Le minimum de 717,6 a été atteint pendant la bourrasque du mois de février et la baisse occasionnée par le mauvais temps a été accentuée; la hauteur barométrique au Réduit a varié dans cette circonstance de 730 millimètres le 17 à 10 heures du matin, à 709 le 20 à 4 heures du soir, mais la baisse a surtout été rapide pendant la journée du 20 et la pression, qui était de 717,6 à 10 heures du matin, n'était que de 709 à 4 heures du soir, soit 8^{mm},6 de différence. Ces chiffres ramenés au niveau de la mer sont donc respectivement de 744,6 et 736^{mm},0.

Généralement, la pression moyenne mensuelle augmente régulièrement du commencement de l'année au mois de juillet ou août. Cette année, le mois de février ne suit pas la règle générale, et cette irré-

1. Voir tome II, 2e série, 1896, le Rapport sur les travaux de 1895.

gularité est due à la baisse accidentelle produite par le voisinage du cyclone.

Tableau I.

	BAROMÈTRE à 0°10 a. m.			HUMIDITÉ relative de l'air.		
	Moyennes.	Plus haute.	Plus basse.	Moyennes.	Maxima.	Minima.
Janvier. . . .	734,1	735,8	731,0	77	90	69
Février. . . .	732,4	737,5	717,6	82	97	70
Mars	735,4	737,6	733,1	78	90	70
Avril	735,9	738,4	733,5	81	95	74
Mai	737,7	740,3	735,0	82	96	67
Juin.	739,17	742,3	737,1	80	95	70
Juillet. . . .	741,1	744,5	737,7	78	91	70
Août	741,7	743,8	738,5	76	89	65
Septembre . .	740,3	742,0	738,8	72	87	62
Octobre . . .	738,9	741,4	735,6	71	93	62
Novembre . .	737,4	739,5	735,2	72	85	64
Décembre . .	736,5	738,7	734,7	76	90	65
Moyennes.	737,81	739,94	733,9	77	91,5	67,3

Hygromètre. — Le degré hygrométrique moyen est de 77 en 1896 contre 78,8 en 1895 à 10 heures du matin. Pendant presque toute l'année et surtout pendant le dernier semestre la moyenne mensuelle est inférieure à celle de l'année dernière, elle n'est plus élevée qu'au mois de février pour lequel plusieurs observations journalières de 97° sont venues modifier la moyenne mensuelle. Les observations extrêmes varient pour l'année de 62° à 97°.

Pendant la bourrasque de février, les pluies ont été ininterrompues et l'humidité atmosphérique constante et élevée; du 27 au 21 février l'hygromètre enregistreur suit une ligne horizontale sans interruption qui indique la saturation presque absolue de l'air.

Température. — La température est de 21°,54 contre 21°,89 en 1895. La moyenne du maxima est de 26°,37 avec des extrêmes allant de 20°,5 à 31°,5 et celle du minima de 16°,72 avec des extrêmes variant de 10°,5 à 22°.

La température la plus élevée de la journée a été de 31°,5 le 9 décembre et la plus basse de la nuit, de 10°,5 le 16 septembre.

La moyenne est donc un peu moins élevée que l'an dernier, sur-

tout pour les températures nocturnes; mais celles-ci devraient subir une légère correction, car le thermomètre minima par suite d'un léger accident a enregistré plusieurs fois des chiffres d'environ un demi-degré plus bas que la normale, et la moyenne doit par ce fait subir une légère augmentation.

Tableau II. — Température à l'ombre.

	MAXIMA.			MINIMA.			TEMPÉRATURE moyenne.
	Moyennes.	Extrêmes.		Moyennes.	Extrêmes.		
Janvier . .	28,93	25,50	31,00	19,87	17,50	22,00	24,40
Février . .	28,24	24,05	31,00	20,07	17,00	21,50	24,15
Mars . . .	28,82	27,00	31,00	19,03	17,00	21,00	23,92
Avril . . .	27,65	24,50	29,00	19,17	17,00	21,50	33,41
Mai . . .	24,87	22,50	27,00	17,10	13,50	20,00	20,98
Juin . . .	23,80	21,50	26,00	14,25	11,00	17,00	19,02
Juillet. . .	22,41	20,50	24,50	13,29	9,00	18,50	17,80
Août . . .	22,75	21,00	25,00	13,10	11,00	15,00	17,93
Septembre.	25,95	22,50	28,00	14,18	10,50	16,50	20,06
Octobre. .	26,55	23,00	28,50	15,87	13,00	18,50	21,21
Novembre .	27,28	22,50	29,50	16,38	13,50	19,50	21,83
Décembre .	29,16	25,50	31,50	18,30	13,50	21,50	23,73
Moyennes .	26,37	23,34	28,50	16,72	13,59	19,38	21,54

Pluviomètre. — La quantité de pluie enregistrée au Réduit pour l'année 1896 a été de 2031^{mm},15 (79,8 pouces) contre 1771 millimètres l'an dernier, soit une différence de 260 millimètres en plus.

Sur cette quantité, 830 millimètres sont enregistrés pour la journée et 1201 pour la nuit. Quant à la répartition journalière, on compte 321 jours de pluie mais seulement 128 jours pendant lesquels la quantité d'eau par 24 heures a été supérieure à 1 millimètre, les 193 autres observations comprennent plutôt de fortes rosées que de la pluie proprement dite et sont enregistrées presque généralement pendant la nuit. Le nombre de jours de pluie au-dessus de 1 millimètre pendant la journée ouvrable, c'est-à-dire de 6 heures du matin à 6 heures du soir, n'a été que de 56 pour l'année dont 12 pour le mois de février.

La répartition mensuelle des pluies caractérise la saison au point de vue agricole. Nous voyons qu'elles ont été abondantes pendant la première partie de l'année, car de janvier à mai on enregistre

1690 millimètres d'eau, soit une moyenne de 338 millimètres par mois, mais de mai à décembre on ne reçoit plus que 341 millimètres, soit une moyenne de 48^{mm},7 par mois, c'est-à-dire que pendant les sept derniers mois on n'a reçu en totalité qu'environ la quantité moyenne enregistrée pour un des cinq premiers mois de l'année; la sécheresse a donc persisté pendant la plus grande partie de l'année.

Tableau III. — Répartition des pluies en 1896.

	JOUR.	NUIT.	TOTAL en millimètres.	TOTAL en pouces.	NOMBRE DE JOURS de pluie. Totaux.	NOMBRE DE JOURS de pluie. Au-dessus de un millimètre.
	—	—	—	—	—	—
Janvier . . .	67,90	202,50	270,40	10,52	30	12
Février. . .	267,50	407,00	774,50	30,44	26	15
Mars. . . .	121,00	28,50	150,20	5,90	29	12
Avril . . .	93,40	105,90	199,30	7,83	30	15
Mai	56,90	239,15	296,05	11,53	28	11
Juin. . . .	2,40	37,80	40,20	1,58	25	9
Juillet . . .	12,95	38,35	51,30	2,01	26	13
Août . . .	6,40	53,35	59,75	2,34	25	12
Septembre .	5,60	35,25	40,85	1,60	28	7
Octobre . .	40,70	17,10	57,80	2,27	27	7
Novembre .	30,80	12,90	43,70	1,71	22	6
Décembre .	24,00	23,10	47,10	1,85	25	9
Totaux.	830,15	1201,00	2031,15	79,78	321	128

Cette irrégularité dans la répartition mensuelle se remarque aussi dans la répartition journalière; néanmoins, la coupe de 1896 a été assez favorisée, car à partir de novembre 1895 des pluies assez abondantes sont venues mettre en végétation toutes les plantations qui ont pu profiter largement de la saison chaude malgré leur irrégulière répartition pendant le reste de l'année. Après les fortes ondées des premiers jours de janvier viennent les pluies torrentielles du 14 au 21 février; la quantité enregistrée pendant cette semaine à la Station a été de 730 millimètres, dont 494 millimètres pour la nuit et 187^{mm},5 pour le jour, soit 377 millimètres pour les 24 heures, encore cette quantité recueillie est un minimum, car le récipient du pluviomètre étant presque rempli, les fortes rafales ont dû faire déborder une partie de l'eau qui y était contenue.

Il est hors de doute que des pluies semblables lavent le sol et en-

traînent une partie de ses éléments fertilisants ; il en est de même des engrais mis en terre peu de temps auparavant. Cependant, les fumures employées de bonne heure dans les repousses ont dû être moins facilement entraînées, car les pluies de novembre avaient donné une grande activité à la végétation et la canne déjà développée avait eu le temps de les absorber en grande partie avant leur arrivée.

Après ces fortes pluies une sécheresse relative s'est fait sentir jusqu'à la fin de mars ; la terre était, il est vrai, assez saturée d'eau pour suffire amplement aux besoins de la végétation dans des conditions normales, mais pendant la bourrasque toutes les cannes vierges un peu avancées, et dont les tiges étaient très développées, ont été fortement secouées et souvent à moitié déracinées par le vent, il aurait donc fallu pendant quelque temps des petites pluies continues pour que la terre puisse se tasser à nouveau autour des racines et pour empêcher sa dessiccation, mais ce n'est pas ce qui a eu lieu, et la sécheresse de mars qui n'aurait eu aucun inconvénient dans des conditions ordinaires, a nui dans une certaine mesure à toutes les plantations qui avaient souffert de la brise, et la végétation est restée pour ainsi dire stationnaire pendant un mois.

En avril, les pluies sont assez régulièrement réparties, puis elles deviennent très copieuses les 6 et 7 mai (230 millimètres, dont 193 pendant la nuit). Après ce moment, la sécheresse survient et dure jusqu'à la fin de l'année, non pas absolue, mais suffisante pour nuire à beaucoup de jeunes plantations.

D'un autre côté, ce temps sec a favorisé la coupe ainsi que la maturation des cannes dont les rendements à l'usine ont été généralement satisfaisants, aussi la récolte s'est poursuivie sans interruptions et a pu être terminée de très bonne heure. Malheureusement, ces conditions ne seront pas sans influence sur la coupe prochaine, et quoiqu'on ne puisse guère encore prévoir les résultats qu'elle donnera, il n'en est pas moins vrai que les effets de la sécheresse des mois de novembre et de décembre se feront sentir dans quelques localités ; certains quartiers ont reçu des pluies en novembre, mais dans d'autres endroits la sécheresse a sévi pendant les deux derniers mois de l'année sans discontinuer et les repousses ne se sont pas développées normalement.

Si dans certaines localités, étant donné un temps favorable, l'activité de la végétation en mai et juin permettra de rattraper en partie le temps perdu, il en est d'autres où une forte diminution de rendement ne pourra être évitée.

La végétation dans nos climats n'est pas assez exubérante pour que deux mois d'arrêt à cette époque de l'année n'aient pas un effet quelconque sur la récolte en cours, surtout quand la sécheresse se prolonge ainsi que cela a lieu actuellement.

II. — Laboratoire.

En 1896 les analyses demandées au laboratoire ont été beaucoup plus nombreuses que l'an dernier, elles s'élèvent à 167, correspondant à 596 dosages divers. On a donc eu beaucoup plus fréquemment recours au contrôle ou à l'étude de certaines questions que précédemment. Cette augmentation n'est pas due seulement aux analyses demandées par les planteurs de Maurice, car elle comprend un certain nombre de recherches faites pour le compte de divers propriétaires de la Réunion consistant principalement en analyses de terres et de fourrages, c'est même de là qu'a été demandée la presque totalité des analyses relatives aux fourrages et matières alimentaires. La diversité de ces analyses semble indiquer qu'à la Réunion on cherche à tirer parti de toutes les ressources pour l'alimentation du bétail d'une façon beaucoup plus complète qu'on ne le fait à Maurice.

Ces analyses payantes ont été les suivantes :

	ANALYSES.	DOSAGES.
Engrais composés	16	109
Guanos	6	20
Phosphates et superphosphates	19	36
Sels divers	10	11
Guanos phosphatés	14	35
Engrais divers	14	33
Fumiers	9	24
Fourrages et matières alimentaires	19	113
Terres	18	83
Sucres, sirops, cannes, etc	17	56
Divers	25	70
	167	596

La composition moyenne de quelques-uns de ces engrais est indiquée ci-après : pour les superphosphates ordinaires : acide phosphorique soluble dans l'eau, 17.54, avec des extrêmes de 14.6 à 20.3; acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque, 2.22, avec des extrêmes de 1.3 à 3.6, et une moyenne d'acide phosphorique total de 20.0 avec des extrêmes de 16.8 à 23.9 p. 100.

Celle des engrais composés est de 5.85 d'azote et de 14.6 d'acide phosphorique avec des extrêmes de 4.8 à 6.8 pour l'azote et de 13.2 à 16.5 p. 100 pour l'acide phosphorique.

Les guanos phosphatés varient de 1.2 à 1.3 d'azote et de 24.5 à 27.5 d'acide phosphorique avec des moyennes de 1.26 d'azote et de 26.5 d'acide phosphorique.

Les fumiers ordinaires contiennent, suivant leur fabrication et les différentes substances qui entrent dans leur composition, de 0.37 à 0.61 d'azote, 0.14 à 0.43 d'acide phosphorique et 0.11 à 0.54 p. 100 de potasse.

Les mélanges varient dans de grandes limites, non point parce qu'on cherche à modifier leur composition suivant les variations du prix des matières premières et leur valeur relative sur le marché, mais simplement parce qu'on est partisan de tel engrais ou de telle formule. Ils ont donné les variations suivantes :

Azote organique	de 0	à 2.47	p. 100.
Azote nitrique	1.1	5.0	—
Azote ammoniacal	4.1	5.2	—
Azote total	7.3	11.2	—
Acide phosphorique soluble dans l'eau	1.1	9.3	—
Acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque	0.6	9.9	—
Acide phosphorique insoluble	0	8.0	—
Acide phosphorique total	8.8	14.1	—
Potasse	3.7	10.7	—

Dans quelques-uns de ces engrais on emploie avec le nitrate de soude, le chlorure de potassium ou le sulfate de potasse pour donner la potasse nécessaire; nous ne reviendrons pas sur ce que nous disions l'an dernier au sujet de la composition et de l'achat des engrais, mais nous ferons encore remarquer qu'actuellement, au point de vue de l'économie, l'emploi du chlorure ou du sulfate de potasse

ne s'impose pas. En effet, si on prend la valeur marchande de ces sels on voit que si les prix ont subi des variations depuis l'an dernier, ils n'ont pas modifié la situation.

Le nitrate de potasse est coté 265 Rs., le nitrate de soude 180 Rs. et le sulfate de potasse 240 Rs.[1].

Pour remplacer un tonneau de nitrate de potasse il faut :

838 kilogr. de nitrate de soude à 180 Rs.	150,8 Rs.
880 kilogr. de chlorure de potasse à 240 Rs.	211,2
	362,0 Rs.

Soit 362 Rs. au lieu de 265 Rs. pour avoir les mêmes éléments fertilisants que dans le nitrate de potasse.

Si on veut calculer d'une autre façon pour savoir à combien revient l'unité de potasse dans le nitrate de potasse et le sulfate de potasse, prenons la valeur de l'azote dans le nitrate de soude qui est de $\frac{18.0}{15.5} = 1,16$ R; l'azote du nitrate de potasse vaudra donc $130 \times 1,16 = 150,8$ Rs.; reste, pour la valeur de la potasse, $265 - 150,8 = 114,2$ Rs., soit l'unité de potasse à $\frac{114.2}{44} = 0,259$ au lieu de $\frac{240}{50} = 0,48$ dans le sulfate de potasse ou le chlorure de potassium.

Le nitrate de potasse est donc beaucoup plus économique que le mélange de nitrate de soude et un sel de potasse, soit chlorure soit sulfate, et doit, par conséquent, être employé de préférence; le même calcul indiquera le choix à faire dans le cas où les prix ci-dessus varieront en plus ou en moins.

Le guano phosphaté est généralement utilisé comme source d'acide phosphorique insoluble dans les mélanges, c'est en effet la matière première qui livre au plus bas prix l'acide phosphorique insoluble dont l'unité revient à 0,36 R. en admettant un titrage de 25 p. 100 et au prix de 90 Rs. la tonne; si on tient compte de l'azote qu'il contient généralement dans la proportion de 1 p. 100 et si on compte celui-ci à 1 R., l'unité phosphorique ne revient plus qu'à

1. La R. (ou roupie) vaut 2 fr. 37 c.

0,32 R.; c'est donc une matière première très économique. Mais si on ne s'en tenait pas à des formules toutes faites, il serait souvent encore possible de diminuer ce prix en employant des matières analogues dont le titrage est variable et qui, pour cette raison, sont plus rarement demandées. Les îles du groupe des Seychelles en fournissent dont la richesse varie dans de grandes limites et dont l'emploi serait souvent encore plus avantageux. Ainsi les deux suivantes, analysées au laboratoire, dont le titrage était respectivement 0.8 et 2.7 p. 100 d'azote et 11.5 et 7.4 d'acide phosphorique, auraient, en prenant les chiffres de 1 R. pour l'azote et 0,32 pour l'acide phosphorique, une valeur de :

N° 1.	0.8 azote à 1 R.	0.80 Rs.
	11.5 acide phosphorique à 0,32	3,68
		4,48 Rs.
N° 2.	2.7 azote à 1 R.	2,7 Rs.
	7.4 acide phosphorique à 0,32	2,36
		5,06 Rs.

soit 44,8 Rs. et 50,6 Rs. le tonneau, c'est-à-dire à un prix bien supérieur à celui auquel ils étaient offerts.

Un autre guano brut de même provenance a donné les résultats suivants. Il était composé de poudre fine mélangée à de gros débris organiques et à des matières pierreuses de grosseur variable dont les plus volumineuses atteignaient le poids de 500 grammes.

La poudre fine mélangée de sable quartzeux était composée de :

Humidité	11.20 p. 100.
Matières organiques	26.12 —
Matières minérales	62.68 —
	100.00 p. 100.

Le guano brut séparé en trois lots de diverses grosseurs a donné pour chacun des lots séparés :

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.
	p. 100.	p. 100.
Poudre fine.	1.0	4.3
Graviers	0.5	18.5
Pierres.	0.0	19.8

La composition moyenne du guano mélangé calculée d'après la proportion et la composition de ces divers lots était de :

Azote.	0.97 p. 100.
Acide phosphorique	7.4 —

Soit une valeur de :

Azote 0.9 p. 100 à 1.00 R.	0.9 R.
Acide phosphorique 7.4 p. 100 à 0.32 R. .	2.36 Rs.
	3.26 Rs.

soit le tonneau 32,60 Rs.

On remarquera que les portions rocheuses sont plus riches en acide phosphorique que la partie fine, mais cette richesse est elle-même très variable; partagées en trois lots suivant leur couleur et leur texture elles ont donné les chiffres suivants en acide phosphorique :

	ACIDE phosphorique.
Roches très tendres, amorphes	18.2 p. 100.
— tendre, texture cristalline . . .	18.4 —
— dures, amorphes.	34.4 —

Ces guanos sont donc loin d'être homogènes, c'est un inconvénient au point de vue de leur exploitation, mais il ne diminue en rien leur valeur intrinsèque, et il est toujours facile, en les mélangeant après broyage, d'en faire une marchandise de composition régulière et uniforme.

III. — Notes diverses.

Ainsi que les années précédentes les cannes récoltées sur la station ont été livrées à l'usine de Trianon. Malheureusement, par suite des nécessités du travail de l'usine et de circonstances diverses, il n'a pas été possible de passer séparément tous les lots des essais, et pour quelques-uns l'analyse des cannes n'a pu se faire que sur les jus extraits au moulin de laboratoire, qui, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, ne donne pas une moyenne très exacte de la richesse saccharine simplement par la raison que l'on ne peut pas

agir sur un poids suffisant de tiges; cependant, comme la majeure partie des cannes était composée de repousses dont l'échantillonnage est plus facile, l'écart est moins considérable. A chaque analyse nous indiquerons si elle a porté sur le jus d'usine ou sur du jus de laboratoire. Cette année, presque toutes les cannes étaient d'une richesse saccharine relativement fort élevée, il n'y a d'exception que pour les cannes vierges de graines dont la maturation était imparfaite pour des causes signalées un peu plus loin.

Les semis de cannes de graines se continuent de divers côtés, mais moins activement que par le passé parce que l'on n'a pas obtenu du premier coup et dès le début une ou des variétés incontestablement supérieures à celles déjà connues et cultivées. Aussitôt que la réussite des semis de cannes a été un fait incontestable, on a tant parlé de la dégénérescence de la canne et de sa régénération par les semis qu'on a été surpris de voir que la plupart des cannes obtenues n'étaient pas des merveilles et que beaucoup d'entre elles étaient même très inférieures à celles que l'on connaissait déjà. C'était cependant à prévoir puisque la canne primitive a dû être améliorée tant par la sélection que par les soins culturaux dont toutes les variétés obtenues accidentellement ont été l'objet.

On pensait à tort que du premier semis allait sortir la canne idéale donnant un fort rendement à l'arpent, possédant une grande richesse saccharine, résistant bien aux intempéries et ne craignant pas plus les attaques des insectes que les atteintes de la maladie; et comme tous ces desiderata ne sont peut-être pas encore réalisés, on en conclut que les cannes issues de graines ne valent pas mieux que les autres. Il est évident que quelques-unes ont très peu de valeur, mais d'autres paraissent donner de très beaux résultats. Une canne qui semble tout d'abord ne pas valoir la peine d'être propagée ne doit cependant pas être abandonnée après un premier essai, car il se peut qu'après avoir été reproduite plusieurs fois par bouturage et placée dans des conditions différentes elle se modifie et montre certaines qualités qui la feront apprécier.

Il est difficile de méconnaître l'importance et les avantages qui peuvent résulter des semis de graines de cannes et de l'obtention de

nouvelles variétés. Il existe un fait indiscutable, c'est que depuis de longues années déjà les variétés introduites à Maurice après avoir, pour quelques-unes d'entre elles, donné de bons résultats et des séries de récoltes abondantes, ont perdu peu à peu de leur vitalité et ont fini par fournir des rendements si aléatoires qu'elles ont été abandonnées par la culture. La cause d'une telle situation est beaucoup moins évidente, et les explications qu'on en donne parfois sont très discutables, elles sont probablement très complexes et difficiles à déterminer exactement, mais le fait est indéniable et il faut en tenir compte. Actuellement, les anciennes variétés disparaissent; il faut en trouver de nouvelles qui, à leur tour, soutiendront la culture pendant un certain nombre d'années; or, les semis de cannes, par la diversité de variétés qu'ils produisent, peuvent donner naissance à une ou plusieurs variétés de cette nature et c'est à ce titre qu'il est utile de les poursuivre.

On attache parfois une influence prépondérante, au point de vue de l'obtention de bonnes variétés, aux semis de graines provenant déjà de cannes issues de graines, c'est-à-dire qu'à la troisième ou quatrième génération on obtiendrait des variétés plus rustiques et de meilleure qualité; il est possible, même probable, que de cette façon on stimulera la faculté de la plante à produire des semences plus fertiles, mais il est beaucoup moins évident que les produits vaudront mieux au point de vue cultural et industriel, c'est-à-dire donneront des rendements plus élevés et d'une plus grande richesse saccharine, et le seul point sur lequel on puisse compter c'est que des nombreux semis exécutés sortent une ou plusieurs variétés recommandables sous un rapport quelconque, soit qu'elles proviennent d'une ancienne variété, soit d'une canne ayant déjà été reproduite par semis.

Cette année, les semis faits à la Station ont été continués, environ trois cents plants ont été obtenus. Les premières graines mises en terre à la fin du mois d'août 1896 de fleurs venant d'être récoltées ont commencé à lever au bout de dix jours et la levée s'est continuée encore pendant une quinzaine de jours. Le 20 septembre, c'est-à-dire près d'un mois après, on a semé des graines identiques

aux premières, mais les premiers plants n'ont commencé à apparaître qu'après 18 jours et beaucoup moins nombreux, ce qui indique qu'on doit semer le plus tôt possible après la récolte parce que les graines fertiles semblent perdre rapidement leurs facultés germinatives.

Quand un semis ne réussit pas, l'insuccès doit être attribué presque généralement à ce que les graines employées n'étaient pas fertiles, si toutefois il n'y a pas eu négligence dans les soins qui sont indispensables à une graine aussi ténue et aussi délicate que la graine de canne à sucre. Le point essentiel, mais le plus difficile, est d'avoir de bonnes graines, et quand on récolte les inflorescences on ne peut être assuré de leur qualité. Certaines localités semblent réunir plus que d'autres les conditions nécessaires à la fécondation et à la maturation des graines. Dans les nombreux essais entrepris à la Station, les fleurs ramassées sur place et aux environs n'ont jamais donné de résultats satisfaisants malgré toutes les précautions prises pour la récolte, celle-ci se faisant sur des panicules à divers degrés de maturité depuis le début de leur complet épanouissement jusqu'au moment où les épillets sont presque complètement détachés et tombent sur le sol.

D'un autre côté, des fleurs récoltées dans quelques localités du littoral sans précautions spéciales ont presque toujours donné des résultats satisfaisants; il y a là une question de situation et d'exposition ou de circonstances météorologiques qui semblent influencer d'une manière particulière la fécondation ou la maturation de la graine.

Cette année, il a été mis à la disposition de la Station un terrain situé au Pamplemousses à côté du Jardin Botanique sur les terres de l'ancienne propriété de « Mon Plaisir ». Ce terrain anciennement planté en cannes et abandonné depuis plusieurs années était recouvert de bois et de broussailles; il a été défriché et planté en cannes de graines avec les boutures provenant des cannes récoltées au Réduit et qu'il était utile d'expérimenter dans d'autres conditions et surtout sous un climat différent. Les résultats qu'elles y donneront comparés avec ceux obtenus au Réduit permettront de voir si cer-

taines variétés sont plus appropriées à un climat qu'à un autre, et il se peut que certaines espèces donnant de médiocres résultats au Réduit en donneront de meilleurs sur le littoral et *vice versa*.

La préparation du terrain ayant été faite tardivement, la plantation n'a pu avoir lieu en temps normal, d'autant plus qu'il s'agissait d'utiliser les têtes provenant de la coupe faite à la Station en octobre 1896.

Une autre partie du terrain a été plantée au café de Libéria (200 plants); cette variété prospère sur les terres chaudes du littoral et n'est pas sujette aux attaques de l'*Hemileia Vastatrix* qui a détruit dans certaines localités les caféiers ordinaires, ou tout au moins ce cryptogame ne se développe pas abondamment sur ses feuilles et l'arbuste résiste parfaitement à ses attaques. La culture du café Libéria n'a pas été expérimentée à Maurice, il existe seulement quelques plants sur divers points de la colonie, qui sont généralement prospères et vigoureux. Il ne serait pas sans intérêt de se rendre compte de l'avenir de cette culture dans les différentes localités de l'île et nous avons profité du terrain des Pamplemousses pour en faire l'essai. Si le café de Libéria n'est pas atteint par l'*Hemileia,* il est attaqué par un insecte très répandu dans la colonie, cet insecte (*Ratopus* sp.), connu généralement sous le nom de scarabé, dévore les feuilles du café Libéria dont il ne laisse parfois que la nervure médiane. Nous ne l'avons observé que sur de jeunes caféiers en pépinière, où ses dégâts n'étaient pas sans importance puisque certains plants ont été en quelques jours complètement dépouillés de leurs feuilles. Il ne paraît pas s'attaquer au caféier ordinaire, car lorsque le café du pays est intercalé entre des plants de Libéria, ces derniers seuls subissent ses atteintes; cet insecte dévore aussi les feuilles de beaucoup d'autres arbustes, notamment de l'oranger et du citronnier et ses ravages sont souvent attribués à tort au papillon appelé papillon Vinson, malheureusement ce coléoptère est absolument dédaigné par les oiseaux dits insectivores.

Au Réduit il a été aussi planté du café de Libéria et du café du pays. Ce dernier dont la culture avait été abandonnée après l'apparition de l'*Hemileia* peut résister à ce champignon au moyen des

traitements par les sels de cuivre. A la Réunion, par des pulvérisations suivies et des soins culturaux intelligents, on a réussi à enrayer la maladie et la culture du café ordinaire paraît entrer dans une phase nouvelle. Au Réduit, les quelques arbustes plantés il y a trois ans commencent à rapporter et s'ils ne sont pas tout à fait indemnes des atteintes de l'*Hemileia*, du moins ils n'en souffrent pas trop et les baies qu'ils portent arrivent facilement à une maturité complète.

L'*Hemileia* se développe surtout pendant la saison chaude et pluvieuse : aussi les traitements au cuivre doivent avoir lieu à cette époque ; au Réduit les pulvérisations sont commencées en novembre et continuées de mois en mois jusqu'en mai ou juin ; on se sert de la bouillie bordelaise sucrée à 2 p. 100 de sulfate de cuivre sans excès de chaux, c'est-à-dire en en ajoutant de façon à ne pas rendre la mixture alcaline.

C'est pour continuer ces essais sur une plus vaste échelle, qu'il a été planté cette année une plus grande quantité de caféiers ; cette petite plantation a été faite sur terrain nu où il semble que le café résiste mieux que lorsqu'il est planté sous bois ou du moins entre des arbres plus ou moins rapprochés. Le bois d'oiseau (*Tetranthera laurifolia*), qui constitue généralement les terrains boisés dans lesquels on serait tenté de planter le caféier, est un des plus mauvais abris qu'on puisse trouver, ses racines nombreuses s'étendent au loin, et si, à proximité d'un de ces arbres on creuse un trou pour y mettre un plant quelconque, elles s'y ramifient et l'envahissent rapidement en s'y développant d'autant plus que la terre a été ameublie et amendée ; alors l'arbuste qu'on y a placé est affamé par ce voisinage, sa végétation est languissante, il reste chétif et dans ces conditions précaires il résiste beaucoup moins facilement à l'envahissement du champignon.

Avant la maturation des baies et alors que la graine du café est encore verte, on a remarqué à la Réunion que la larve d'un papillon de la famille des Pyraliens attaque le pédoncule à la base du fruit, puis pénètre dans la baie dont il dévore les tissus ; le fruit alors noircit et se dessèche, puis tombe sur le sol ; c'est ce que l'on appelle *coulure du café*. Dans certaines plantations, cet insecte a, paraît-il, réduit la récolte d'un tiers et on ne connaît pas d'autre moyen de

destruction que celui de cueillir les baies attaquées et de les brûler pour empêcher sa propagation. — Ce papillon existe également à Maurice; nous ne l'avions pas observé l'an dernier, mais cette année ses dégâts n'ont pas été sans importance.

La description de cet insecte est la suivante, d'après M. Bontilly, inspecteur des forêts et chef du service forestier du Crédit Foncier Colonial à la Réunion : « L'insecte parfait est un papillon nocturne de petite taille, de $6^{mm},1/2$ de longueur et de 11 millimètres d'envergure au repos, les ailes restant ouvertes dans cette position. Les deux grandes cachent en partie les deux petites. La couleur générale des ailes est brune, mais foncée et d'un beau gris près du corps pour finir par une bordure sinueuse d'un brun clair doré à la base de l'aile. Sur la marge de chacune des deux ailes supérieures, on remarque quatre plaques d'un blanc nacré aux reflets bleuâtres, de forme irrégulière et nettement dessinée par une fine bordure noire. Les ailes sont finement plissées, légèrement cotonneuses. Les antennes sont ténues, de couleur jaune d'or, le corselet argenté. Le dessous des ailes est beaucoup plus clair que la partie supérieure, la couleur générale est alors le gris argenté tirant sur le jaune, à mesure qu'on se rapproche de la base. L'abdomen est gris argenté. Les trois paires de pattes, d'abord argentées près du corps, tendent de plus en plus vers la couleur brun clair doré en allant vers les extrémités. »

Des essais de culture de tabac ont été entrepris depuis quelque temps à la Station, afin de voir si, dans toutes les circonstances, le tabac récolté à Maurice est de qualité aussi inférieure qu'on le dit généralement. Ces essais se poursuivent actuellement et les résultats déjà obtenus semblent indiquer qu'il ne serait pas impossible de produire du tabac de qualité ordinaire et qui serait loin d'être infumable. Sans chercher actuellement à faire des tabacs pour l'exportation, on pourrait commencer à en produire pour la consommation locale qui est assez considérable, et comme le climat de Maurice est très favorable à cette culture, il ne semble pas impossible de trouver des terrains produisant des tabacs de qualité courante. La production de l'arome spécial qui fait la réputation et la valeur de

certains tabacs, comme ceux de la Havane par exemple, tient surtout à la nature du terrain; il y a là une question de cru qui est particulière à ces terres privilégiées et que rien ne peut remplacer, mais dans une situation déterminée la qualité ne dépend pas uniquement du terrain et de son exposition, elle peut être plus ou moins modifiée par l'espèce à cultiver, la distance des plants, l'époque de la récolte, la préparation des feuilles, etc., qui sont autant de facteurs importants et qui ne doivent pas être livrés au hasard.

Le discrédit dont jouit le tabac indigène doit provenir en partie de l'époque où cette culture était libre et où chacun pouvait planter quelques pieds de tabac dont les feuilles, n'étant l'objet d'aucun soin, arrivaient à la consommation en plus ou moins mauvais état; il en serait autrement si, entreprise sur une étendue moins restreinte, elle était conduite normalement.

Le tabac est une plante qui exige beaucoup de soins et de travail depuis la plantation jusqu'au moment de la vente; il suffit de la récolter avant ou après sa maturité pour modifier complètement ses propriétés et aucune précaution ne doit être négligée pour lui conserver ou pour lui communiquer les qualités demandées par le consommateur.

Sa principale qualité est la combustibilité et c'est surtout celle qui, dit-on, ferait défaut au tabac récolté à Maurice, mais cet inconvénient n'est pas inévitable, puisque la généralité des tabacs récoltés au Réduit est au moins d'une bonne combustibilité moyenne, et ce qu'on pourrait leur reprocher c'est de ne pas posséder l'arome particulier qu'on recherche dans les tabacs d'importation; néanmoins, la plupart des amateurs qui ont bien voulu donner leur avis à ce sujet ont trouvé très passables les cigares qui avaient été fabriqués à la Station.

Nous pensons donc que si, avec les conditions primitives dans lesquelles nous avons opéré, absence de séchoir convenable, pas de fermentation en meule à cause de la petite quantité de tabac récolté, le produit n'était pas de mauvaise qualité, on peut admettre que cette qualité s'améliorerait notablement si la manipulation à partir de la récolte était conduite telle qu'elle doit l'être dans une fabrication normale.

La gomme a été encore moins abondante sur les cannes cette année qu'en 1895 et dans quelques quartiers on recommence à planter la canne bambou qui avait été presque complètement abandonnée sur certaines propriétés; néanmoins, cette affection est loin d'avoir disparu et si son acuité semble s'atténuer, elle existe toujours plus ou moins, non seulement sur la bambou qui est la plus sensible à ses atteintes, mais sur beaucoup d'autres espèces; s'il est utile de conserver cette variété qui se recommande par ses qualités spéciales, il ne serait peut-être pas prudent pour une propriété de la cultiver sur une trop grande échelle.

Les allures de cette maladie sont anormales et dans certains quartiers des carreaux qui étaient gravement atteints ont donné l'année suivante de très belles repousses où la maladie semblait avoir complètement disparu. Il est vrai de dire que les cannes bambou ont été coupées au début de la saison et qu'on s'est d'autant plus empressé de les manipuler que l'on craignait de voir se renouveler les dégâts observés pendant les années précédentes et dont la gravité s'accentue au fur et à mesure que la saison de coupe est plus avancée.

Pour les nouvelles plantations il est de toute nécessité de choisir les têtes des cannes dans des champs où l'on n'observe aucune trace de maladie et autant que possible de les prendre sur une propriété indemne. Malgré l'obscurité qui règne encore sur les causes de cette affection et son mode de propagation, il est évident que l'on en sera d'autant plus à l'abri qu'il aura été pris plus de précautions pour n'en pas introduire les germes dans la plantation à créer; même dans ce cas on aura toujours à craindre sa réapparition, tandis qu'en mettant en terre des têtes de cannes gommeuses on sera à peu près certain d'avoir une pousse irrégulière, la maladie se manifestera dès le début et les rejets qui sortiront de la bouture seront souvent malingres et périront avant d'avoir pu constituer une souche.

IV. — Essais d'engrais divers.

Cette année, on s'est généralement abstenu d'entreprendre les essais d'engrais qui avaient été recommandés il y a deux ans, ou du moins, s'ils l'ont été sur quelques propriétés, nous n'avons reçu

aucun renseignement à cet égard et n'en connaissons pas les résultats.

Lorsque la culture du sol est prospère et que les récoltes laissent un large bénéfice à celui qui l'exploite, on comprend jusqu'à un certain point que l'on néglige les recherches qui pourraient aboutir à une augmentation de rendement ou, ce qui revient pratiquement au même, à une diminution du prix de revient; mais lorsque cette exploitation tend à devenir de moins en moins rémunératrice, ce qui paraît véritablement résulter de la situation actuelle et des plaintes nombreuses que l'on entend de tous côtés, ces recherches devraient intéresser davantage le producteur, et chacun, semble-t-il, devrait y contribuer dans la limite de ses moyens ; cependant, c'est à ce moment qu'on s'en préoccupe le moins, et c'est d'autant plus regrettable que les essais commencés auraient dû être continués et reproduits pendant quelques années, afin de pouvoir en tirer des données certaines et pratiques.

On a eu raison de dire que si les expériences de culture ne doivent pas être bien faites et rigoureusement suivies, il vaut mieux ne pas s'en occuper. Est-ce pour ce motif que l'abstention est générale? On serait presque tenté de le croire, car il est difficile de trouver une autre cause sérieuse.

Pour entreprendre un essai dans de bonnes conditions sur une propriété à Maurice, il faut, pour ainsi dire, une double collaboration, celle du propriétaire et celle de l'administrateur, et c'est assurément cette dernière qui est la plus importante, car quand l'administrateur sera convaincu de l'utilité et de l'avantage des essais culturaux de quelque nature qu'ils soient, et qu'il espérera en retirer une indication utile, on est sûr qu'ils seront surveillés et bien exécutés et qu'on pourra compter sur les résultats obtenus.

Ces essais n'entraînent cependant pas une grande dépense pour une propriété, surtout ceux concernant les engrais; il s'agit simplement d'un peu plus de surveillance et de soins, puisqu'il faut répartir uniformément l'engrais dans chaque lot d'égale superficie, et à la récolte couper chaque essai séparément et le peser ; seulement c'est un travail dont il faut se charger soi-même, ou le faire exécuter par quelqu'un sur qui on puisse compter, et non

pas donner des ordres sans s'occuper s'ils seront exécutés convenablement.

On éprouve aussi de la difficulté à trouver un terrain bien uniforme; si on le possède, on hésite avant de le consacrer à une expérience, et parfois on choisit un carreau, le premier venu, plus ou moins accidenté ou irrégulier, toujours assez bon, pense-t-on, pour faire un essai, et sur lequel les résultats des divers lots ne seront plus comparables.

On a suggéré parfois que la Station devrait posséder des terrains sur divers points de la colonie pour y faire des essais; mais à cause de l'éloignement, l'organisation et la surveillance des divers travaux seraient difficiles, et la seule façon pratique de les entreprendre, c'est que le propriétaire se charge du travail suivant les indications qui lui seraient données par la Station. Il n'est guère probable que la dépense soit un obstacle à leur exécution, mais si cependant cela était, on pourrait encore y arriver et la Station pourrait rembourser toutes les dépenses du propriétaire qui, naturellement, lui tiendrait compte de la valeur de la récolte obtenue. La véritable cause de cette abstention doit cependant être beaucoup plus simple que celles que nous énumérons; il est probable qu'elle est due principalement à ce que chaque planteur croit que ses méthodes culturales sont parfaites et que toute modification lui semble inutile.

Cependant, les essais culturaux sont d'une telle importance et si fertiles en résultats que nous croyons devoir insister encore sur ce sujet, d'autant plus que les expériences sur la canne à sucre sont plus difficiles, ou du moins qu'il est moins facile d'en tirer des conclusions immédiates que pour beaucoup d'autres cultures, pour plusieurs raisons dont les deux principales sont les suivantes :

D'abord le temps pendant lequel la canne végète avant d'être récoltée, un an pour les repousses et deux ans pour les cannes vierges, époque pendant laquelle la canne reste soumise à toutes les influences climatériques ou autres qui lui sont favorables ou défavorables, et les engrais agissent d'autant mieux ou donnent des résultats d'autant plus visibles et marqués que la plante expérimentée met moins de temps pour se développer complètement, c'est-à-dire du moment de la plantation à celui de la récolte.

En outre, chaque souche de cannes, comme tout végétal en général, possède une certaine individualité qui fait que deux plants placés l'un à côté de l'autre sont rarement identiques sous tous les rapports, et souvent l'un d'eux prend un développement plus considérable sans qu'on puisse toujours l'attribuer à une cause connue, de sorte que plus le nombre de sujets faisant partie d'un lot d'expérience est grand, et plus on sera à l'abri de ces anomalies ; or, les plants de cannes sont toujours relativement très espacés, puisqu'on n'en compte qu'environ 7 000 à l'hectare — il faudrait donc prendre pour chaque lot une surface assez considérable pour atténuer dans la mesure du possible ces accidents, mais d'un autre côté on se heurte à un autre inconvénient, c'est que le terrain peut ne pas être homogène et les divers essais à comparer ne seraient plus dans les mêmes conditions. Ce sont deux extrêmes qu'il faut tâcher d'éviter, mais cela n'est pas toujours possible, de sorte que pour la canne, plus que pour la plupart des autres cultures, il faut multiplier les essais afin de se mettre à l'abri d'une conclusion trop prématurée.

En 1896, le champ d'essai de la Station a été coupé en premières repousses, puis il a reçu les mêmes engrais qu'on avait déjà donnés en 1895 pour les cannes vierges ; le tableau IV indique les résultats obtenus.

La récolte s'est faite le 15 octobre 1896, les vierges ayant été coupées le 9 octobre 1895.

Le guanage a eu lieu le 20 décembre 1895 avec les mélanges dont nous rappellerons la composition.

Les lots sont de $\frac{1}{16}$ d'arpent et comprennent 190 fossés. La fumure employée et correspondante à l'arpent était de 30 kilogr. d'azote, 40 kilogr. d'acide phosphorique et 30 kilogr. de potasse.

Parcelles 1 à 4. — 40 kilogr. d'acide phosphorique, dont moitié par le superphosphate et moitié par le guano phosphaté ; 30 kilogr. de potasse par le sulfate de potasse ; l'azote est employé sous des formes différentes.

Parcelle 1 : 30 kilogr. azote organique par le sang desséché.

Parcelle 2 : 30 kilogr. azote ammoniacal par le sulfate d'ammoniaque.

Parcelle 3 : 30 kilogr. azote nitrique par le sulfate de soude.

Parcelle 4 : Mélange des trois azotes : 10 kilogr. organique, 10 kilogr, ammoniacal et 10 kilogr. nitrique.

Parcelle 5. — Engrais de la parcelle 4, plus 30 p. 100 du même mélange.

Parcelle 6. — Engrais de la parcelle 4, mais une demi-fumure seulement.

Parcelles 7 à 9. — Mêmes doses que parcelle 4. Dans la parcelle 7, la potasse est à l'état de chlorure de potassium et à l'état de nitrate dans la parcelle 8. En 9, même dosage, mais cette parcelle a été en partie détruite par les cerfs.

Parcelles 11 à 14. — Mêmes doses et composition que dans la parcelle 4 pour l'azote et la potasse ; l'acide phosphorique est employé sous les formes suivantes :

Parcelle 11 : Acide phosphorique soluble dans l'eau par le superphosphate.

Parcelle 12 : Acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque par le phosphate précipité.

Parcelle 13 : Acide phosphorique insoluble par le guano phosphaté.

Parcelle 14 : Mélange par parties égales d'acide phosphorique soluble et insoluble.

Parcelles 15 à 17. — Avec le même mélange que dans la parcelle 4, les parcelles ont reçu en plus : dans le n° 15, 15 kilogr. de potasse par le nitrate de potasse ; en 16, 20 kilogr. d'acide phosphorique par le superphosphate, et en 17, 10 kilogr. d'azote par le nitrate de soude.

Parcelles 18 à 21. — Ces parcelles ont reçu des engrais incomplets, c'est-à-dire la fumure n° 4 dans laquelle il manquait un élément ; l'azote pour la parcelle 18 ; l'acide phosphorique pour la parcelle 19 et la potasse pour le n° 20 ; la parcelle 21 n'a rien reçu.

La partie du terrain où se trouve cette dernière série paraît inférieure aux autres parties du champ et moins homogène, ainsi que nous le faisions remarquer l'an dernier; en outre, les trois dernières parcelles ont été légèrement endommagées par les cerfs.

Tableau IV. — Analyse des cannes du champ N° 2, le 15 octobre 1896.

NUMÉROS des parcelles.	DENSITÉ à 15°.	BAUMÉ.	POUR 100 centim. cubes.		POUR 100 de cannes.		PURETÉ.	COEFFICIENT glucosique.	RENDEMENT à l'arpent.	SUCRE produit à l'arpent.
			Sucre.	Glucose.	Sucre.	Glucose.				
									Kilogr.	Kilogr.
1	108,3	11,2	19.14	0.70	14.84	0.53	86.8	3.5	39 600	5 876
2	8,2	11,0	19.06	0.66	14.79	0.50	87.5	3.4	39 000	5 768
3	8,1	10,9	18.53	0.81	14.39	0.63	86.1	4.4	40 000	5 756
4	7,9	10,7	18.17	0.88	14.14	0.68	87.0	4.7	41 900	5 924
5	7,8	10,5	17.72	1.21	13.80	0.94	85.4	6.8	46 100	6 362
6	8,0	10,8	18.89	0.88	14.69	0.68	89.3	4.6	35 700	5 244
7	8,1	10,9	18.71	1.27	14.53	0.98	86.9	6.7	38 100	5 536
8	8,0	10,8	18.71	1.14	14.54	0.88	88.4	6.0	31 100	4 522
9	8,0	10,8	19.14	0.93	14.88	0.72	90.4	4.8	26 100	3 883
11	8,5	11,4	20.13	0.48	15.58	0.37	89.4	2.3	38 600	6 014
12	8,7	11,7	20.31	0.46	15.69	0.35	88.2	2.2	39 600	6 213
13	8,6	11,6	20.13	0.48	15.56	0.37	88.4	2.3	32 900	5 119
14	8,6	11,5	20.39	0.47	15.76	0.36	89.5	2.2	36 500	5 742
15	8,1	10,9	18.71	0.87	14.53	0.67	86.9	4.5	36 800	5 346
16	8,1	10,9	18.53	0.98	14.39	0.75	86.1	5.2	37 300	5 367
17	8,1	10,9	18.53	1.01	14.39	0.78	86.1	5.4	39 000	5 612
18	8,2	11,0	19.05	0.90	14.79	0.69	87.5	4.7	33 200	4 910
19	7,9	10,7	18.53	1.07	14.43	0.83	88.7	5.7	19 100	2 756
20	7,7	10,4	17.99	1.40	14.02	1.08	88.3	7.7	22 600	3 168

L'analyse des cannes du tableau IV a été faite sur les jus d'usine provenant du premier moulin, elle présente donc bien exactement la richesse moyenne. Elle ne varie guère dans les parcelles de la même série, et on peut considérer pratiquement les richesses saccharines comme équivalentes dans les divers lots.

L'an dernier, ces cannes récoltées en vierges étaient très pauvres, tandis qu'elles sont cette année d'une richesse relativement élevée,

de sorte que, malgré la réduction sur le poids des cannes récoltées, le sucre produit à l'arpent est sensiblement le même.

L'influence de la nature des engrais sur la richesse saccharine n'est pas plus marquée que dans les essais précédents, les différences que l'on peut observer sont dans l'ordre de celles qui peuvent se présenter dans les cannes du même carreau traitées d'une façon identique, et elles ne pourraient être mises à l'actif de l'engrais que si elles se reproduisaient dans une série d'essais de même nature. Si on prend la moyenne des richesses des deux années consécutives, vierges et repousses, pour les lots où la nature de l'engrais pourrait avoir de l'influence, on a des résultats semblables aux précédents ainsi que le montrent les chiffres suivants :

	RICHESSE moyenne.
Azote organique	12.11
Azote ammoniacal	11.86
Azote nitrique	11.94
Azote mélange	12.05

et dans les parcelles à engrais incomplet :

Sans azote	13.43
Sans acide phosphorique	13.25
Sans potasse	13.08

Les poids de cannes à l'arpent sont également peu différents dans la première série, les parcelles 5 et 6 seules indiquent l'influence d'une fumure plus ou moins copieuse.

Dans la série des phosphates, l'acide phosphorique insoluble a donné un rendement inférieur, tandis que pour les cannes vierges on avait constaté un résultat inverse ; la moyenne des deux rendements, vierges et repousses, est de :

Acide phosphorique	soluble dans l'eau	48 000 kilogr.
— —	soluble dans le citrate	50 200 —
— —	insoluble dans le citrate	49 100 —
— —	insoluble et soluble	50 200 —

Il résulterait que l'acide phosphorique soluble est préférable pour les repousses et que l'acide phosphorique insoluble peut remplacer

avantageusement l'acide phosphorique soluble dans les vierges, c'est possible, mais nous attendons d'autres résultats avant de prendre le fait comme acquis.

Les indications fournies par les parcelles 18 à 21 ne doivent pas être acceptées sans réserves pour les raisons indiquées plus haut, et les résultats relatifs à l'acide phosphorique demandent confirmation.

Sur un autre terrain anciennement en culture, on a reproduit les expériences sur la forme de l'azote. Les cannes étaient des Lousier en premières repousses, coupées en vierges le 25 octobre 1895 et guanées le 30 décembre ; elles ont été coupées le 14 novembre 1896.

La composition de l'engrais est identique à celle des parcelles précédentes, 1 à 4, même engrais dans les quatre parcelles, mais l'azote sous forme variable. L'analyse des cannes a été faite sur le jus extrait au petit moulin du laboratoire, et peut présenter moins d'exactitude que dans le premier cas ; les résultats ont été les suivants :

CHAMP N° 3.	DENSITÉ à 15°.	POUR 100 centim. cubes.		POUR 100 de cannes.		COEFFICIENT glucosique.	PURETÉ.	RENDEMENT à l'arpent.
		Sucre.	Glucose.	Sucre.	Glucose.			
Sang desséché . . .	109,3	22.80	0.45	17.53	0.33	1.9	92.3	22 760
Sulfate d'ammoniaque.	9,4	23.24	0.29	17.84	0.23	1.2	93 1	24 770
Nitrate de soude . .	9,4	22.98	0.39	17.65	0.29	1.6	93.0	21 220
Azote par tiers . . .	9,2	22.71	0.30	17.45	0.23	1.3	93.1	23 540
Sans engrais	8,7	21.20	0.39	16.38	0.29	1.7	91.7	16 000

Sur une autre partie du même champ, on a ajouté l'engrais ordinaire n° 4, mais, dans chaque lot, on a augmenté respectivement d'un tiers la dose de chacun des éléments. Chaque parcelle a donc reçu en plus et rapporté à l'arpent :

Parcelle 1. 10 kilogr. d'azote nitrique.
— 2. 10 kilogr. d'azote nitrique.
— 3. 15 kilogr. d'acide phosphorique.
— 4. 10 kilogr. de potasse.

Dans la parcelle 1, les 10 kilogr. d'azote supplémentaire ont été ajoutés en même temps que la fumure générale ; dans la parcelle 2, ils ont été ajoutés seulement en mai.

N° 1.	109,2	22.20	0.36	17.07	0.28	1.6	91.1	22 509
N° 2.	8,6	20.07	0.59	15.98	0.45	2.8	90.8	25 160
N° 3.	8,8	21.28	0.52	15.42	0.39	2.4	91.3	24 260
N° 4.	8,6	21.20	0.57	15.28	0.43	2.6	92.1	24 880

V. — Composition minérale d'une récolte de cannes.

Si la proportion des substances minérales contenues dans une récolte ne permet pas de calculer d'une manière absolue la quantité et la nature des engrais à lui appliquer, elle est un des facteurs importants de cette évaluation, et elle donne la mesure de ses exigences culturales qui, mises en parallèle avec la nature et les ressources du sol, fournissent les indications nécessaires pour y arriver.

Ces exigences peuvent subir des variations qu'il est utile de constater et de déterminer. Nous établissons donc ci-après la composition minérale de la canne à diverses périodes de sa végétation, c'est-à-dire à des époques de plus en plus rapprochées de la récolte.

L'absorption des principes minéraux ne paraît pas très régulière dans le cas présent, et cette variation ne semble pas uniquement devoir être attribuée à la difficulté de la prise d'un échantillon moyen d'une récolte, mais aussi au mode spécial de végétation de la canne, aux alternatives d'arrêt et d'activité de sa croissance sous notre climat et à la longue période pendant laquelle elle reste soumise à ces influences avant d'être récoltée.

Les résultats suivants ont été obtenus sur des cannes vierges, et il est possible que sur des repousses dont la végétation est plus rapide et plus régulière, les variations que l'on y remarque soient moins accentuées. Tels qu'ils sont, ils permettent de se rendre compte de la proportion d'éléments prélevés dans le sol par une récolte moyenne et d'établir le bilan de la culture, c'est-à-dire la somme des principes contenus dans la récolte et qui doivent être fournis tant par le sol que par les engrais.

Les cannes (Lousier) ont été plantées en janvier 1894 et guanées

en avril suivant. Les échantillons ont été prélevés chaque mois à partir du 6 mai jusqu'en octobre 1895, c'est-à-dire durant les six mois qui précèdent la récolte et alors que les tiges avaient déjà acquis les trois quarts de leur développement total.

A chaque fois on a choisi six cannes représentant la moyenne du champ, les tiges ont été divisées longitudinalement en deux parties identiques ; l'une d'elles a été passée au moulin pour avoir la richesse saccharine du jus, l'autre a servi à la détermination de la matière sèche et au dosage des matières minérales.

L'analyse a été faite séparément sur les tiges et sur les feuilles, celles-ci comprenant toute la sommité de la canne à partir de la dernière feuille verte adhérente à la tige. La richesse saccharine des tiges a été déterminée par l'analyse du jus extrait au moulin en comptant une proportion de jus normal de 84 p. 100.

Ces diverses déterminations ont donné les résultats suivants :

	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOÛT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.
Proportion centésimale des tiges et des feuilles :						
Tiges	66.1	70.5	66.5	69.7	75.1	79.6
Feuilles . . .	33.9	29.5	33.5	30.3	24.9	20.4
Canne entière .	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Matière sèche p. 100 de cannes :						
Matière sèche .	21.90	23.40	25.33	24.87	25.60	23.30
Eau.	78.10	76.60	74.67	75.13	74.40	76.70
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Matière sèche p. 100 de feuilles :						
Matière sèche .	18.46	23.00	22.73	25.83	22.94	20.00
Eau.	81.54	77.00	77.27	74.17	77.06	80.00
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Richesse saccharine de la canne :						
Sucre	9.56	9.94	12.26	13.14	13.70	11.50
Glucose . . .	1.31	1.20	0.98	0.65	0.45	0.45
Total. .	10.86	11.14	13.24	13.79	14.15	11.95

Pour l'évaluation du poids de la récolte à chaque prise d'essai, il n'a pas été possible de se baser sur celui des cannes prélevées pour l'analyse; les variations dans la croissance n'étant pas considérables

d'un mois à l'autre, ne pourraient être constatées en raison de la difficulté de choisir des cannes représentant exactement le poids moyen de la récolte à un moment déterminé. Pour se rendre compte de l'accroissement, on a choisi un certain nombre de tiges moyennes qui ont été mesurées exactement et dont les entre-nœuds découverts ont été comptés chaque fois jusqu'à la première feuille verte encore adhérente. On a eu de cette façon l'accroissement en longueur, et à la récolte les cannes ont été divisées en sections correspondantes au mesurage précédent et pesées séparément. On obtient ainsi l'accroissement en poids d'une façon aussi précise qu'il est possible de le faire, et c'est sur ces données que sont calculés les poids successifs de la récolte.

Les moyennes obtenues ont été les suivantes :

POIDS moyen d'une canne.	POIDS successifs de la récolte en tiges, le poids final étant égal à 100.	LONGUEUR moyenne d'une canne.	LONGUEUR relative.	NOMBRE d'entre-nœuds découverts sur une canne moyenne.
—	—	—	—	—
kilogr.	kilogr.	mètres.	mètres.	
1,362	73,1	1,75	67,5	24
1,631	87,5	2,17	83,7	29
1,709	91,7	2,29	88,4	32
1,781	95,6	2,37	91,5	33
1,836	98,6	2,51	96,5	34
1,861	100,0	2,59	100,0	36

On remarque qu'en ramenant les accroissements en poids et en longueur à 100, les deux nombres diffèrent légèrement et que l'accroissement en longueur est plus élevé que l'augmentation en poids; cela est dû à ce que la canne n'a pas la même grosseur sur toute sa longueur et que son diamètre diminue dans la partie supérieure de la tige.

Avec ces données, on calcule que 100 kilogr. de tiges à la récolte donnent aux diverses époques les proportions centésimales suivantes de cannes et de feuilles :

Tiges. . . .	73.1	87.5	91.7	95.6	98.6	100.0
Feuilles. . .	37.4	36.5	45.8	41.4	42.6	25.5
Poids total .	110.5	124.0	137.5	137.0	131.2	125.5

et pour une récolte de 30 000 kilogr. de cannes à l'arpent :

	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Tiges	21 930	26 250	27 510	28 680	29 580	30 000
Feuilles . . .	11 230	10 940	13 750	12 420	9 790	7 650
Total	33 160	37 190	41 260	41 100	39 370	37 650

L'irrégularité de la proportion des feuilles relativement au poids des tiges tient à plusieurs causes : d'abord à ce que l'échantillon sur lequel a porté l'analyse n'est pas le même que celui qui a servi à la mesure de l'accroissement, puis à ce que la longueur de la canne ayant été prise jusqu'à la dernière feuille verte, il suffit qu'une feuille soit sèche ou verte pour modifier sensiblement la longueur relative sur un lot et faire varier sur l'autre la proportion centésimale des tiges et des feuilles, variations qui peuvent ne pas toujours se produire dans le même sens et occasionner ces différences.

Les tableaux V à VIII contiennent :

Tableau V : Composition centésimale des cendres pures, c'est-à-dire moins le charbon et l'acide carbonique, cannes et feuilles.

Tableau V. — Composition centésimale des cendres moins l'acide carbonique.

	6 MAI.	6 JUIN.	6 JUILLET.	6 AOUT.	6 SEPTEMBRE.	7 OCTOBRE.
			CANNES.			
Silice.	37.79	43.05	51.49	53.70	54.60	50.46
Chlore	3.46	2.88	1.13	0.59	0.49	0.59
Acide sulfurique . .	6.33	8.14	7.54	9.81	9.40	8.54
Acide phosphorique .	4.90	4.87	4.85	4.43	4.56	5.40
Chaux	5.42	6.43	7.19	8.01	8.36	7.77
Magnésie	7.23	8.00	10.73	9.28	9.30	6.54
Potasse.	32.26	25.20	15.55	12.26	11.92	19.07
Soude	1.23	0.52	0.50	0.33	0.49	0.55
Oxyde de fer. . . .	2.15	1.56	1.27	1.72	0.99	1.21
			FEUILLES.			
Silice.	46.05	55.62	57.57	57.93	58.26	57.75
Chlore	4.34	4.06	3.32	2.46	3.10	4.33
Acide sulfurique . .	5.00	5.18	3.89	6.65	7.14	4.46
Acide phosphorique .	3.91	2.96	3.52	3.22	2.59	2.65
Chaux	5.75	5.13	5.60	7.01	7.48	5.94
Magnésie	4.44	4.10	5.94	7.70	5.64	3.96
Potasse.	29.13	21.74	18.61	13.43	15.10	20.65
Soude	0.52	0.73	0.52	1.67	0.62	0.50
Oxyde de fer. . . .	1,83	1.39	0.78	0.39	0.75	0.73

Tableaux VI et VII : Matières minérales contenues dans 100 kilogr. de matière naturelle, c'est-à-dire à l'état vert, cannes et feuilles, et dans 100 kilogr. de matière desséchée à 100°.

Tableau VI. — Matières minérales contenues dans 100 kilogrammes.

	6 MAI.	6 JUIN.	6 JUILLET.	6 AOUT.	6 SEPTEMBRE.	7 OCTOBRE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
			CANNES.			
Silice	0,176	0,320	0,208	0,227	0,212	0,238
Chlore	0,016	0,021	0,005	0,003	0,002	0,003
Acide sulfurique	0,029	0,061	0,031	0,041	0,036	0,040
Acide phosphorique	0,023	0,036	0,020	0,019	0,018	0,025
Chaux	0,025	0,048	0,029	0,034	0,033	0,037
Magnésie	0,034	0,060	0,043	0,039	0,036	0,031
Potasse	0,150	0,188	0,063	0,052	0,046	0,090
Soude	0,006	0,004	0,002	0,001	0,002	0,003
Oxyde de fer	0,010	0,012	0,005	0,007	0,004	0,006
Total	0,469	0,750	0,406	0,423	0,389	0,473
Azote	0,110	0,131	0,071	0,074	0,106	0,100
			FEUILLES.			
Silice	0,711	1,310	1,037	1,285	1,159	1,088
Chlore	0,067	0,096	0,060	0,055	0,062	0,082
Acide sulfurique	0,077	0,122	0,088	0,148	0,142	0,84
Acide phosphorique	0,060	0,070	0,064	0,072	0,053	0,50
Chaux	0,089	0,121	0,101	0,155	0,149	0,112
Magnésie	0,069	0,096	0,107	0,173	0,112	0,075
Potasse	0,450	0,512	0,335	0,298	0,301	0,388
Soude	0,008	0,017	0,009	0,037	0,012	0,009
Oxyde de fer	0,028	0,033	0,014	0,009	0,015	0,014
Total	1,559	2,378	1,815	2,232	2,004	1,902
Azote	0,158	0,224	0,183	0,202	0,252	0,209

TABLEAU.

Tableau VII. — Composition de 100 kilogr. de substance sèche.

	6 MAI.	6 JUIN.	6 JUILLET.	6 AOUT.	6 SEPTEMBRE.	7 OCTOBRE.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
			CANNES.			
Silice	0,805	1,373	0,824	0,913	0,830	1,024
Chlore	0,074	0,092	0,018	0,010	0,007	0,012
Acide sulfurique	0,135	0,260	0,121	0,167	0,142	0,173
Acide phosphorique	0,104	0,155	0,078	0,075	0,070	0,110
Chaux	0,115	0,205	0,115	0,136	0,127	0,158
Magnésie	0,154	0,255	0,170	0,158	0,141	0,133
Potasse	0,687	0,803	0,250	0.208	0,181	0,387
Soude	0,026	0,017	0,008	0,006	0,008	0,011
Oxyde de fer	0,046	0,050	0,020	0,029	0,015	0,024
Total	2,146	3,210	1,604	1,702	1,521	2,032
Azote	0,503	0,560	0,282	0,298	0,414	0,430
			FEUILLES.			
Silice	3,854	5,696	4,560	4,976	5,056	5,440
Chlore	0,363	0,416	0,263	0,211	0,269	0,408
Acide sulfurique	0,419	0,530	0,387	0,571	0,620	0,420
Acide phosphorique	0,327	0,303	0,279	0,277	0,225	0,250
Chaux	0,481	0,525	0,443	0,602	0,649	0,559
Magnésie	0,371	0,420	0,470	0,669	0,490	0,373
Potasse	2,438	2,226	1,474	1,154	1,311	1,945
Soude	0,044	0,075	0,041	0,143	0,054	0,047
Oxyde de fer	0,153	0,142	0,062	0,034	0,065	0,069
Total	8,451	10,333	7,979	8,637	8,740	9,511
Azote	0,857	1,020	0,806	0,782	1,101	1,048

Tableau VIII : Matières minérales contenues dans une récolte de 30 000 kilogr. de cannes à l'arpent, calculées d'après la proportion des tiges et des sommités obtenue à chaque essai, le poids des cannes à chaque époque étant estimé d'après l'accroissement constaté sur un lot de cannes identique à celui qui a servi aux analyses.

Tableau VIII. — Matières minérales contenues dans la récolte entière aux différentes époques.

	6 MAI.			6 JUIN.			6 JUILLET.			6 AOUT.			7 SEPTEMBRE.			7 OCTOBRE.		
	Tiges.	Feuilles.	Total.	Tiges.	Feuilles.	Total.	Tiges.	Feuilles.	Total.	Tiges.	Feuilles.	Total.	Tiges.	Feuilles.	Total.	Tiges.	Feuilles.	Total.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Poids total	21 930	11 230	33 160	26 250	10 910	37 190	27 510	13 750	41 260	28 080	12 120	41 100	29 580	9 790	39 370	30 000	7 650	37 650
Matière sèche	4 802	2 073	6 875	6 112	2 516	8 658	6 968	3 115	10 083	7 132	3 259	10 391	7 572	2 145	9 717	6 990	1 530	8 520
Azote	24,12	17,71	41,85	31,38	21,50	68,88	17,53	25,16	42,69	21,22	25,08	46,30	31,35	24,67	56,02	30,00	15,99	45,99
Silice	38,60	79,81	118,41	84,00	143,31	227,31	57,22	142,57	199,81	65,10	159,60	224,70	62,71	113,47	176,18	71,40	83,22	154,63
Chlore	3,51	7,52	11,03	5,51	10,50	16,01	1,37	8,25	9,62	0,86	6,83	7,69	0,59	6,07	6,66	0,90	6,27	7,17
Acide sulfurique	6,56	8,95	15,01	16,01	13,35	29,36	8,53	12,10	20,63	11,76	18,38	30,14	10,65	13,90	21,55	12,00	6,42	18,42
Acide phosphorique	5,04	6,74	11,78	9,45	7,66	17,11	5,50	8,80	14,30	5,45	8,94	14,39	5,52	5,09	10,41	7,60	3,83	11,33
Chaux	5,48	10,00	15,48	12,60	13,24	25,84	7,98	13,89	21,87	9,75	19,25	29,00	9,76	11,56	21,32	11,10	8,57	19,67
Magnésie	7,46	7,74	15,20	15,75	10,61	26,36	11,83	14,71	26,54	11,18	21,48	32,66	10,65	10,96	21,61	9,30	5,74	15,14
Potasse	32,89	50,54	83,43	49,35	56,01	105,36	17,33	46,06	63,39	14,91	37,01	51,92	13,61	29,47	43,08	27,00	29,68	56,68
Soude	1,31	0,90	2,21	1,05	1,85	2,91	0,55	1,24	1,79	0,29	1,60	1,89	0,59	1,17	1,76	0,99	0,69	1,59
Oxyde de fer	2,19	3,14	5,33	3,15	3,61	6,76	1,37	1,92	3,29	2,01	1,12	3,13	1,18	1,47	2,65	1,80	1,07	2,87
Cendres totales	102,84	175,07	277,91	196,87	260,15	457,02	141,08	249,56	361,21	121,31	277,21	398,52	145,06	196,16	341,22	141,99	145,50	287,40

Dans la composition centésimale, tableau VIII, les différents éléments varient dans les divers lots, sans règle bien établie, excepté pour le chlore et la potasse, qui diminuent régulièrement tant dans les feuilles que dans les tiges au fur et à mesure que la canne approche de sa maturité. A toutes les époques, la potasse est toujours l'élément le plus abondant dans les cendres; au début, sa proportion est surtout considérable dans les tiges, mais dans les derniers mois elle en disparaît plus rapidement que dans les feuilles. On n'observe qu'une anomalie en octobre, où la potasse semble réapparaître, tandis que la chaux et la magnésie subissent une diminution sensible. Cette particularité n'est pas la seule que l'on puisse constater, comme nous le verrons plus loin, elle ne peut guère s'expliquer par une reprise de la végétation amenée par les pluies, puisque la sécheresse s'est continuée jusqu'à la récolte, et cependant elle était très nette.

Si le fait était constant et non accidentel, il serait dû à l'influence de la saison. A cette époque de l'année, on remarque en effet sur beaucoup de végétaux, soit herbacés, soit ligneux, un mouvement séveux caractéristique qui coïncide généralement avec les premières pluies, mais si celles-ci ne surviennent pas à l'époque habituelle, cette manifestation ne s'en produit pas moins avec plus ou moins d'intensité. Les pluies viennent évidemment contribuer à activer cette reprise de la végétation, mais en leur absence, elle se produit néanmoins par l'influence de la température qui s'élève alors rapidement, et il n'y a rien d'étonnant à ce que la canne en subisse aussi les effets comme d'autres plantes sur lesquelles ils sont plus visibles.

La proportion de matières minérales est très élevée dans les cannes et dans les feuilles; elle varie de 4 à plus de 7 p. 1000 dans les tiges, en outre celles-ci sont de qualité très inférieure au point de vue de la richesse saccharine, de sorte que la quantité de matières minérales totales varie, p. 100 de matière sucrée dans la canne (sucre et glucose), de 3 à plus de 6 p. 100, dont 0,4 à 1,6 de potasse. Cette proportion de matières minérales est beaucoup plus élevée que celle qu'on rencontre habituellement, et il en est de même de l'azote, qui s'y trouve également en forte proportion.

La valeur de ces chiffres est plus facile à établir dans le tableau de la composition minérale p. 100 de matière sèche. Les cendres totales y varient de 15 à 31 dans les cannes et de 72 à 102 dans les feuilles p. 1000 de matière sèche.

On observe d'assez grandes variations dans le taux des cendres totales; en juin il atteint un maximum qui peut être dû aux pluies du mois précédent; cette augmentation se remarque également dans les feuilles et chacun des éléments y participe à peu près dans les mêmes proportions.

Relativement à la matière sèche totale, les éléments minéraux ne suivent pas une marche très uniforme, il n'y a que la potasse et le chlore qui diminuent régulièrement dans les tiges au fur et à mesure que les cannes mûrissent, ce n'est qu'à la dernière analyse d'octobre qu'on observe la réapparition de la potasse et une augmentation du taux des cendres.

En juillet et août, la richesse en azote subit une forte dépression dans les tiges et dans les feuilles qui n'est pas accusée par les autres éléments minéraux.

Dans le tableau de la composition des cannes de mai en octobre, les chiffres qui y sont indiqués ne représentent pas la totalité des principes puisés dans le sol par la récolte; ils indiquent seulement les éléments qui y sont contenus au moment de l'analyse, non compris ceux qui ont servi à la constitution des feuilles qui se dessèchent et qui se détachent de la tige au fur et à mesure de l'accroissement de la plante. C'est donc un minimum des substances absorbées et utilisées pendant la végétation de la canne et par conséquent de ses besoins.

C'est pour la même raison que le poids total des tiges et des feuilles diminue à la récolte, parce que les feuilles sont moins abondantes; à la coupe la proportion des feuilles n'était que de 25 p. 100 du poids des tiges, tandis qu'elle était de 50 p. 100 quatre ou cinq mois auparavant.

Si dans la composition de la récolte totale, la proportion de cendres est élevée, il est à considérer que, relativement à de précédentes analyses, le taux d'acide phosphorique est plus faible et celui de la potasse plus considérable; il en est de même de l'azote, dont la

proportion est au-dessus de la moyenne habituelle, et il est utile de rappeler à ce propos que les cannes en question, récoltées en 1895, étaient d'une très faible richesse saccharine et incomplètement mûres.

L'acide phosphorique prélevé par arpent pour la production des 30 000 kilogr. de cannes est, dans le cas présent, de 17 kilogr. au maximum en juin, généralement en proportion plus grande dans les feuilles que dans les tiges en octobre; c'est une proportion plus faible que celle qu'on trouve habituellement et qu'il y a lieu de signaler en passant, surtout quand on la compare à celle de l'acide sulfurique.

La potasse est toujours plus abondante dans les feuilles que dans les tiges, son maximum en juin s'élève à 105 kilogr., puis cette quantité diminue peu à peu, excepté pour le dernier mois, où elle se trouve en augmentation dans les tiges proprement dites.

La chaux et la magnésie se trouvent en proportions sensiblement égales dans la récolte entière, et il est probable que ces deux éléments peuvent se substituer l'un à l'autre dans une certaine mesure; leur ensemble s'élève dans la récolte totale jusqu'à 61 kilogr.

Si maintenant on considère la proportion qui existe entre les éléments contenus dans les engrais fournis habituellement à la canne et ceux contenus dans la récolte, on est frappé surtout de la différence qui existe pour la potasse entre la quantité prélevée dans le sol et celle qui est restituée par les engrais. Il faut reconnaître que, dans la majorité des cas, la potasse est un des éléments dont les effets sont le moins marqués sur la végétation et il est difficile parfois de constater son influence sur les rendements, du moins dans des essais isolés et non suivis.

Une succession de cultures sans restitution de la potasse ou avec une restitution insuffisante pourrait seule montrer son efficacité. On ne peut guère admettre, en présence des prélèvements énormes faits au sol par une récolte de cannes, que la réserve qui y existe ne s'épuise pas peu à peu et ne finisse par être insuffisante pour les besoins de la végétation, car dans toutes les circonstances, c'est toujours cet élément qui domine dans la composition des cendres de la canne.

Au point de vue absolu, si tous les principes contenus dans une récolte de cannes faisaient retour au sol, l'épuisement serait pour ainsi dire nul puisqu'on n'exporte que le sucre. Mais, sur la plupart des propriétés, les résidus sont inutilisés ou ne le sont que partiellement. La bagasse et les feuilles servent de combustible dont les éléments minéraux se retrouvent dans les cendres et peuvent être restitués à la terre, mais la chaleur des foyers étant très élevée, ces éléments se trouvent engagés dans des combinaisons stables et leur assimilabilité se trouve profondément modifiée ; ils ne deviendront utilisables pour la végétation que peu à peu et dans un délai plus ou moins éloigné.

D'un autre côté, les sels qui se trouvent dans les jus sont principalement constitués par de l'acide phosphorique et de la potasse. L'acide phosphorique passe dans les écumes et retourne à la terre, plus ou moins directement suivant leur mode d'utilisation, mais la potasse reste dans les mélasses qui ne sont presque jamais utilisées sur l'exploitation qui les a produites, mais presque toujours exportées pour une distillerie quelconque.

Il s'ensuit donc, d'un côté, une immobilisation momentanée de la potasse et de l'autre une perte réelle qui devrait, semble-t-il, conduire à ne pas trop diminuer le taux de potasse dans les engrais pour ne pas épuiser le stock que le sol renferme encore.

Suivant la loi dite de la restitution, qui consiste à faire retourner au sol, sous une forme ou sous une autre, tous les éléments puisés par les récoltes, il faudrait, pour la canne, employer des engrais à haute dose de potasse ; mais, d'un autre côté, cette loi ne doit pas être considérée comme absolue et elle ne doit être observée que dans le cas de sols absolument inertes, ce qui n'est pas le cas des terres cultivables. Il est évident que sans restitution on diminue peu à peu les réserves du sol et qu'à un moment donné elles seront épuisées, mais en pratique cette solution aura plus ou moins d'importance suivant le temps pendant lequel dureront ces réserves, et il peut y avoir intérêt à profiter du stock accumulé au lieu de l'entretenir et même de l'augmenter.

Pour la potasse, en particulier, la quantité disponible dans nos terres n'est pas considérable, mais elle se renouvelle peu à peu par

la décomposition lente de ses éléments constituants, qui eux-mêmes ne sont pas une réserve inépuisable. Sur les propriétés où sont utilisés tous les résidus, mélasses, cendres, etc., et où l'on emploie suffisamment de fumier, l'épuisement est moins à craindre et les engrais de potasse auront moins d'importance que sur celles où ces règles ne sont pas suivies; dans ce dernier cas, il arrivera fatalement un moment, peut-être rapproché, où l'on s'apercevra pratiquement du manque de cet élément dans le sol.

C'est ce qui est déjà arrivé dans certaines colonies sucrières, à l'époque où le guano du Pérou était seul employé pour la culture de la canne à l'exclusion des autres engrais et même du fumier de ferme. Au bout d'un certain nombre d'années, les résultats obtenus, merveilleux au début, étaient loin d'être satisfaisants, et les rendements ne se sont relevés que par un emploi judicieux des sels potassiques. Du reste, l'emploi de la potasse, comme des autres engrais, est réglé par la relation qui existe entre la proportion contenue dans le sol et les besoins de la plante; si ceux-ci sont élevés, il est à craindre que dans une culture où les engrais potassiques seront employés avec parcimonie, où les résidus de toutes sortes sont peu utilisés, et où la fabrication des fumiers est réduite, on arrive en peu de temps à épuiser la réserve que l'on exploite actuellement.

VI. — Essai sur la nitrification de la matière azotée du sol et de quelques engrais azotés.

Parmi les éléments que les récoltes enlèvent au sol, et qu'on doit lui restituer pour conserver ou augmenter sa fertilité, l'azote est celui qui a le plus d'importance, tant par son action sur la végétation que par sa grande valeur commerciale. Des trois éléments fertilisants qui constituent les engrais employés dans la culture de la canne, c'est en effet celui dont le prix est le plus élevé, et il représente, à lui seul, souvent plus de la moitié de leur valeur totale; il est donc nécessaire de le rechercher dans les produits qui le fournissent au prix de revient le moins élevé.

Certaines matières azotées entrent rarement dans la composition

des mélanges, sans que la défaveur dont elles jouissent paraisse justifiée, et c'est pour étudier la question que nous avons cru devoir, à côté des expériences culturales proprement dites, entreprendre quelques essais de nitrification.

On sait que les deux formes minérales de l'azote sont considérées comme les seules sources directes de l'alimentation azotée des végétaux. Autrefois, on pensait que l'ammoniaque était la seule forme sous laquelle l'azote pouvait être absorbé par les plantes; mais depuis, une opinion différente tend à prévaloir, et l'azote nitrique est considéré par beaucoup d'auteurs comme étant la seule combinaison assimilable, l'azote organique et l'azote ammoniacal devant se nitrifier avant leur absorption par les végétaux. En pratique, la question est difficile à étudier, car l'ammoniaque se transforme rapidement dans le sol en acide nitrique, mais, en général et dans des conditions normales, la culture fait peu de différence entre ces deux états particuliers, et la variation qu'on remarque parfois dans le prix de ces deux formes de l'azote tient beaucoup plus à des considérations commerciales qu'à une préférence marquée de la part des cultivateurs.

Cette variation est d'ailleurs généralement assez faible, mais sur certains marchés locaux, comme, par exemple, à Maurice, l'abondance ou la rareté d'un des principaux sels qui fournissent l'azote, peut amener momentanément une différence de prix assez notable pour qu'il soit de l'intérêt de l'acheteur de choisir de préférence l'engrais qui lui livre l'azote au plus bas prix, sinon en totalité, du moins pour une proportion plus ou moins grande de la quantité qui entre dans la composition du mélange.

A Maurice, on a souvent des idées très nettes et très absolues sur diverses questions culturales, telles que l'action des divers éléments sur la canne, et notamment sur l'action relative de l'azote, soit sous forme d'ammoniaque, soit sous forme d'azote nitrique; seulement, la même opinion n'est pas générale, et il y a des partisans de l'azote ammoniacal comme il y en a de l'azote nitrique.

Il n'est guère probable, cependant, qu'il existe pratiquement une différence aussi capitale entre ces deux formes de l'azote; évidemment, elles présentent, chacune, certaines propriétés spéciales

qu'il serait imprudent de méconnaître et dont il faut tenir compte ; ainsi, les nitrates sont facilement entraînés par les eaux pluviales qui traversent le sol, puisque la terre arable ne possède aucune propriété absorbante pour ces sels, et une copieuse fumure nitratée avant les grandes pluies et alors que la végétation est peu active n'est pas à recommander, mais, en mettant l'azote nitrique en deux fois, on éviterait en partie cet inconvénient, qui est d'autant moins à craindre que les plantes auxquelles on l'applique ont une végétation active et plus vigoureuse. D'un autre côté, l'azote du sulfate d'ammoniaque n'est pas absolument à l'abri de toute perte par entraînement, et d'après les derniers travaux sur ce sujet (Brustlein), les terres qui ne renferment pas de carbonate de chaux et dans lesquelles le sulfate d'ammoniaque ne subit pas de transformation, ne le retiennent et ne le fixent que d'une façon relative, et comme c'est le cas presque général de nos terres, la différence principale entre ces deux formes de l'azote est encore atténuée.

Il faut ajouter que des expériences culturales suivies sur la canne à sucre n'ont pas encore démontré d'une manière indiscutable que dans tous les cas on doive donner la préférence exclusive à l'une ou l'autre de ces deux formes de l'azote, et pratiquement, on devrait plutôt en faire varier la proportion dans les mélanges suivant les conditions diverses, culturales et économiques, du moment, qui elles-mêmes se modifient journellement.

On a trop souvent une tendance à généraliser les observations faites dans la pratique agricole et à en déduire des conclusions trop absolues, et pour cette question spéciale de l'azote, on a souvent varié d'opinion et la vogue a été tantôt à l'azote ammoniacal, tantôt à l'azote nitrique sans avoir égard, le moins du monde, au prix de revient de ces deux éléments fertilisants.

Ce qui tendrait encore à infirmer ces opinions absolues, c'est le fait qu'à la Réunion une partie des planteurs, et non des moindres, ont à ce sujet des idées diamétralement opposées à celles des planteurs de Maurice, et pour eux, le sulfate d'ammoniaque doit être absolument rejeté pour la confection des engrais destinés à la canne à sucre, car le nitrate de soude seul peut donner des récoltes riches et abondantes.

Il est difficile d'admettre que dans des îles aussi voisines et aussi semblables comme situation agricole, le même élément fertilisant pris sous une forme différente puisse produire des effets aussi opposés ; et, jusqu'à plus ample informé, nous pensons que ces opinions extrêmes ne sont point basées d'une manière bien évidente, ni sur les données de la science, ni sur celles de la pratique, et que le prix de revient ainsi que les circonstances particulières locales, doivent guider les planteurs dans le choix et la proportion de ces deux éléments ainsi que nous le disions plus haut.

Si l'on discute encore pour savoir si l'azote minéral est absorbé sous la forme ammoniacale ou nitrique, il n'en est plus de même en ce qui concerne l'azote organique, et on s'accorde généralement pour convenir qu'il doit être minéralisé avant de devenir assimilable.

L'azote organique se trouve dans le commerce sous des formes diverses, et sa transformation plus ou moins facile en azote nitrique par les micro-organismes du sol varie avec l'origine des matières premières qui le renferment ; cette rapidité dans sa minéralisation peut servir à mesurer son efficacité et par conséquent sa valeur agricole.

Les matières premières auxquelles on peut s'adresser pour l'azote organique sont nombreuses, mais, dans la colonie, ce nombre est limité ; néanmoins, certaines d'entre elles sont absolument délaissées, et c'est pour étudier leur degré d'assimilabilité que nous avons entrepris les quelques essais de nitrification qui suivent.

Dans la plupart des essais classiques sur la nitrification des matières azotées, le sulfate d'ammoniaque est toujours pris comme type représentant la matière la plus facile à nitrifier, parce que son azote est déjà sous forme ammoniacale, et les engrais contenant de l'azote organique sont classés suivant leur aptitude à se transformer en azote minéral, c'est-à-dire en azote ammoniacal d'abord, puis en azote nitrique. Dans nos essais, nous voulions surtout comparer le sang desséché avec les tourteaux qui nous viennent de l'Inde, mais les résultats obtenus avec le sulfate d'ammoniaque pris comme comparaison ont été complètement inattendus ; c'est pourquoi les mêmes essais ont été reproduits plusieurs fois, afin de s'assurer qu'ils n'étaient pas dus à une circonstance fortuite quelconque.

La première expérience a été faite dans les conditions suivantes :

De la terre tamisée a été placée dans des caisses en fer-blanc contenant chacune 16 kilogr. de terre ; le fond de chaque caisse était percé d'un ajutage recouvert d'une toile métallique, et une fiole placée sous l'ajutage permettait de recueillir les eaux qui auraient pu s'écouler de la terre par un excès d'arrosage. Les récipients étaient à l'abri de la pluie sous un hangar couvert, et on arrosait avec de l'eau distillée, de façon à maintenir une humidité convenable.

Les échantillons n°s 2 et 5 ont été additionnés préalablement de 5 p. 100 de leur poids de sable calcaire (sable de mer) pulvérisé grossièrement et également tamisé.

Chaque lot devait recevoir la même quantité d'azote apportée par le sulfate d'ammoniaque, le sang desséché et le tourteau, mais, par suite d'une erreur, cette quantité a été inégale et s'est trouvée, pour 100 gr. de terre sèche, de 0^{gr},300 d'azote pour le sulfate d'ammoniaque, de 0^{gr},290 pour le sang desséché et de 0^{gr},400 pour le tourteau. L'erreur faite sur l'azote du tourteau provient de ce qu'on avait tamisé cet engrais en employant la poudre fine passant au tamis et en rejetant les parties grossières. Une analyse ultérieure a montré que le tourteau qui dosait 6.5 p. 100 d'azote a donné une poudre fine dosant 9.5 d'azote et des débris grossiers qui ne contenaient plus que 5.0 p. 100 d'azote. L'analyse ayant été faite après le mélange du tourteau à la terre, il s'est trouvé que la dose d'azote incorporé était exagérée, mais cette circonstance, dont il faut tenir compte, ne modifie pas les résultats de l'expérience.

Pour les analyses, chaque caisse était vidée complètement et le contenu mélangé intimement avant la prise d'échantillon. L'azote ammonical a été dosé par les procédés ordinaires et l'azote nitrique par le procédé Schlœsing ; les dosages sont rapportés à la terre sèche.

La terre employée présentait la composition suivante :

Analyse physique :

Gros sable.	2.80
Sable fin	46.30
Argile.	25.50
Humus	Trace.

Analyse chimique :

Acide phosphorique	0.115
Acide sulfurique	0.000
Chaux	0.155
Magnésie	0.043
Potasse	0.066
Oxyde de fer et alumnine	13.000
Azote	0.350

Le taux d'azote organique paraîtra élevé, mais il n'a rien d'exagéré pour les terres de Maurice, qui sont généralement caractérisées par leur faible teneur en chaux et leur richesse en azote, et ce ne sont pas toujours les plus fertiles, car la nitrification y est lente et difficile.

Le sable calcaire employé a été pulvérisé grossièrement ; il contenait 32 p. 100 de parties passant au tamis n° 60, et 68 p. 100 passant au tamis n° 30. Sa composition était de :

Carbonate de chaux	91.10
Sulfate de chaux	0.68
Résidu insoluble	1.12
Eau, soude, magnésie, etc.	7.10
	100.00

Les échantillons ont été préparés le 16 septembre 1895 et les analyses faites en janvier, février, avril, mai et juin 1896, c'est-à-dire après un délai d'environ quatre, cinq, sept, huit et neuf mois. La quantité d'azote ammoniacal et nitrique formée est exprimée en milligrammes pour 100 grammes de terre desséchée.

	20 JANVIER 1896.	24 FÉVRIER.	23 AVRIL.	23 MAI.	26 JUIN.
N° 1. — Terre ordinaire :					
Azote ammoniacal	»	1.3	1.0	1.2	0.9
— nitrique	»	6.0	8.0	8.6	8.6
Azote total	»	7.3	9.0	9.8	9.5
N° 2. — Terre avec 5 p. 100 de calcaire :					
Azote ammoniacal	1.6	1.5	1.8	3.0	4.0
— nitrique	6.0	17.0	20.0	22.0	24.0
Azote total	7.6	18.5	21.8	25.0	28.0

	20 JANVIER 1896.	24 FÉVRIER.	23 AVRIL.	23 MAI.	26 JUIN.
N° 3. — Terre avec sulfate d'ammoniaque :					
Azote ammoniacal . . .	270	271	258	262	260
— nitrique	28	31	36	37	42
Azote total . .	298	302	294	299	302
N° 4. — Terre avec sang desséché :					
Azote ammoniacal . . .	63	58	79	85	86
— nitrique	145	153	150	150	158
Azote total . .	208	211	229	235	244
N° 5. — Terre avec sang desséché et calcaire :					
Azote ammoniacal . . .	3	3	3.5	4	6
— nitrique	177	188	214	222	222
Azote total . .	180	191	217	226	228
N° 6. — Terre avec tourteau :					
Azote ammoniacal . . .	112	94	54	48	45
— nitrique	145	206	237	253	276
Azote total . .	257	300	291	301	321

Pendant la durée de l'expérience, il s'est produit accidentellement une infiltration d'eau pluviale dans le n° 5 ; il en est résulté une perte d'azote nitrique qui a été évaluée au minimum à 25 ou 30 milligr. pour 100 gr. de terre sèche ; le 20 avril, le même accident s'est renouvelé pour le n° 6, mais la perte d'azote a été relativement très faible.

Ce qui frappe tout d'abord dans l'essai ci-dessus est la nitrification relativement lente du sulfate d'ammoniaque comparée à celle du sang et du tourteau ; cette différence s'accentue de suite après la première prise d'échantillon qui a été faite quatre mois après la préparation des terres, et c'est pour vérifier cette anomalie, ou du moins qui paraissait telle, qu'il a été remis de suite de nouveaux échantillons en expériences.

Ceux-ci ont été placés à l'intérieur du laboratoire, dans des allonges en verre contenant 900 gr. de terre contenant $0^{gr},324$ d'azote

organique p. 100 de terre sèche, des traces d'azote nitrique et 0gr,0016 d'azote ammoniacal; il a été ajouté à chaque lot, au moyen du sulfate d'ammoniaque, du sang et du tourteau, 0gr,300 d'azote.

Les échantillons, constitués comme suit, ont été préparés le 30 janvier 1896 :

1° Terre avec sulfate d'ammoniaque;

2° Terre avec sulfate d'ammoniaque et 5 p. 100 de calcaire;

3° Terre avec sang desséché;

4° Terre avec tourteau.

	9 MARS 1896.	8 AVRIL.	12 MAI.	13 JUIN.
N° 1. — Terre avec sulfate d'ammoniaque :				
Azote ammoniacal. . . .	280	265	260	265
— nitrique	13	26	40	40
Azote total. . .	293	291	300	305
N° 2. — Terre avec sulfate d'ammoniaque et calcaire :				
Azote ammoniacal. . . .	139	14	8	3
— nitrique	140	266	287	290
Azote total. . .	279	280	295	293
N° 3. — Terre avec sang desséché :				
Azote ammoniacal. . . .	41	80	101	97
— nitrique	75	104	125	126
Azote total. . .	116	184	226	223
N° 4. — Terre avec tourteau :				
Azote ammoniacal. . . .	133	61	17	13
— nitrique	29	106	177	187
Azote total. . .	162	167	194	200

Le même fait s'est reproduit pour le sulfate d'ammoniaque comparé au sang desséché et au tourteau, mais le n° 2 fait ressortir l'influence du carbonate de chaux ajouté à la terre contenant du sulfate d'ammoniaque.

En avril de la même année, on installe une série un peu plus

complète que les précédentes. Dans ce troisième essai, on ajoute à de la terre ordinaire, d'une part 5 p. 100 de calcaire et de l'autre 1 p. 100 de chaux contenant 50 p. 100 de chaux caustique (nos 1, 2, 3).

Trois lots sont additionnés de sulfate d'ammoniaque, de sang desséché et de tourteau, puis trois autres identiques reçoivent 5 p. 100 de calcaire nos 4 et 5, 6 et 7, 9 et 10.

Chaque lot contenu dans des cylindres tubulés en fer-blanc comprenait :

3 kilogr. de terre analogue à celle du premier essai et a reçu 0.180 p. 100 d'azote ammoniacal ou organique. La richesse des engrais en azote était de : sulfate d'ammoniaque 20.5, sang desséché 13, tourteau 6.1, fertilizer 5.4, fish guano 6.8.

Les terres additionnées d'engrais ont été mises en expérience le 15 avril 1895 et ont donné les résultats suivants :

Tableau IX.

	11 JUIN 1896.	12 JUILLET.	14 AOUT.	15 SEPTEMBRE.	26 NOVEMBRE.	20 FÉVRIER 1897.
N° 1. — Terre ordinaire :						
Azote ammoniacal .	0.5	1.7	1.8	2.5	2.9	»
— nitrique. . .	4.2	5.0	5.0	8.3	8.0	8.0
Azote total .	4.7	6.7	6.8	10.8	10.9	»
N° 2. — Terre avec sable calcaire :						
Azote ammoniacal .	2.5	3.0	2.5	1.8	2.8	»
— nitrique. . .	6.2	7.3	6.0	10.0	10.0	11
Azote total .	8.7	10.3	8.5	11.8	12.8	»
N° 3. — Terre avec chaux :						
Azote ammoniacal .	2.2	4.6	8.0	1.6	3.5	»
— nitrique. . .	17.0	20.0	19.0	24.0	28.0	28
Azote total .	19.2	24.6	27.0	25.6	31.5	»
N° 4. — Terre avec sulfate d'ammoniaque :						
Azote ammoniacal .	161	165	154	150	145	104
— nitrique. . .	22	29	35	44	51	85
Azote total .	183	194	189	194	196	189

	11 juin 1896.	12 juillet.	14 août.	15 septembre.	26 novembre.	20 février 1897.
N° 5. — Terre avec sulfate d'ammoniaque et calcaire :						
Azote ammoniacal .	102	53	8	4	7	5
— nitrique. . .	75	133	186	190	187	188
Azote total .	177	186	194	194	194	183
N° 6. — Terre avec sang :						
Azote ammoniacal .	71	73	68	63	51	50
— nitrique. . .	66	74	85	88	101	101
Azote total .	137	147	153	151	152	151
N° 7. — Terre avec sang, plus calcaire :						
Azote ammoniacal .	20	7	4	4	3	5
— nitrique. . .	123	151	159	158	174	178
Azote total .	143	158	163	162	177	183
N° 9. — Terre avec tourteau :						
Azote ammoniacal .	63	55	48	47	13	4
— nitrique. . .	59	82	95	101	139	155
Azote total .	122	138	143	148	152	159
N° 10. — Terre plus tourteau, plus calcaire :						
Azote ammoniacal .	26	6	7	2	4	3
— nitrique. . .	97	139	137	148	155	166
Azote total .	123	145	144	150	159	169
N° 11. — Terre, plus fertilizer :						
Azote ammoniacal .	34	29	1	3	5	»
— nitrique. . .	64	90	111	127	140	145
Azote total .	98	119	112	130	145	»
N° 12. — Terre, plus fish guano :						
Azote ammoniacal .	55	40	30	18	4	»
— nitrique. . .	74	110	113	137	161	164
Azote total .	129	150	143	155	165	»

Les essais de cette dernière série présentent des résultats de même ordre que les précédents, et les quelques divergences qu'on y constate n'en modifient pas le sens général. Dans les trois promiers lots, l'action nitrifiante de la chaux sur les matières organiques du sol est bien marquée : employée à une dose cinq fois moins considérable que le sable calcaire, elle a un pouvoir nitrifiant bien supérieur ;

ce résultat est dû non seulement à sa causticité, mais aussi à son état physique, car, que la chaux soit mal cuite, ou qu'elle se soit recarbonatée à l'air, elle se trouve dans un état de finesse qui ne peut être comparé à celui du sable coquillier ou madréporique que l'on ramasse sur le bord de la mer et dont les particules sont toujours d'une dimension relativement considérable.

A la même dose, le sable calcaire agira d'autant plus énergiquement et sa valeur agricole sera d'autant plus grande que les grains dont il est composé seront réduits à des dimensions plus ténues et qu'il pourra être incorporé plus intimement au sol ; dans les essais ci-dessus, même après avoir été pulvérisé, il était encore en particules assez volumineuses pour qu'après avoir été mélangé intimement à la terre, on puisse encore les distinguer facilement à l'œil nu. Lors de son emploi agricole, il faudrait donc le choisir sur les points du rivage où il est le plus ténu, mais, malgré cela, l'avantage restera à la chaux, qui pourra être employée à doses beaucoup moins considérables toutes les fois que les frais de transport viendront augmenter le prix du sable dans toutes les localités situées à une certaine distance du lieu d'extraction. L'action agricole de la chaux caustique comparée au sable est d'autant plus marquée que la matière organique azotée de la généralité de nos sols est de décomposition difficile, et y existe sous un état presque inutilisable pour les plantes; c'est ce qui explique son accumulation dans certaines terres qui, malgré leur richesse en azote, bénéficient largement des engrais azotés qu'on leur donne.

La mobilisation de ce stock inutile doit donc être recherchée, et c'est par le chaulage qu'on y arrivera le plus sûrement et le plus rapidement.

L'influence du sable calcaire sur la nitrification des engrais est beaucoup plus énergique que celle exercée sur la matière azotée du sol, et cela est caractéristique en ce qui concerne le sulfate d'ammoniaque.

Dans la terre non additionnée de sable calcaire, la nitrification du sulfate d'ammoniaque est très lente, le sang s'y nitrifie plus facilement, mais les autres matières organiques azotées essayées, tourteau, fertilizer et fish guano, sont de décomposition encore plus

rapide et nitrifient plus facilement, ainsi que les chiffres suivants l'indiquent nettement :

Azote nitrique formé dans la terre ordinaire en milligrammes.

	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPT.	NOV.
Sulfate d'ammoniaque .	22	29	35	44	53
Sang	66	74	85	88	101
Tourteau.	59	82	95	101	139
Fertilizer	64	90	111	127	140
Fish guano.	74	110	113	137	161

Si, pour faciliter la comparaison, on rapporte ces chiffres à l'engrais qui a nitrifié le plus abondamment en le désignant par 100, on obtient :

	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPT.	NOV.
Sulfate d'ammoniaque. .	30	26	31	32	33
Sang	89	67	75	64	62
Tourteau.	79	74	84	73	86
Fertilizer.	86	82	98	92	87
Fish guano.	100	100	100	100	100

Il semblerait donc que la nitrification est d'autant plus lente que la matière première est plus riche en azote, c'est-à-dire contient relativement moins de matières étrangères ; il est probable que, dans ce cas, ces substances, phosphate et carbonate de chaux et autres sels contenus dans le tourteau, fertilizer et fish guano, viennent faciliter la nitrification et remplacer, jusqu'à un certain point, la base nitrifiable qui lui fait défaut dans les premiers. Cela paraît d'autant plus probable que, quand on additionne la terre de sable calcaire, le sang et surtout le sulfate d'ammoniaqne nitrifient très rapidement et fournissent dans le même temps une proportion d'azote nitrique plus abondante que le tourteau ; dans l'expérience ci-dessus, dès le mois d'août le sulfate d'ammoniaque est totalement nitrifié.

Nitrification dans la terre additionnée de sable calcaire.

	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPT.	NOV.
Sulfate d'ammoniaque. .	75	133	186	190	187
Sang	123	151	159	158	174
Tourteau.	97	139	137	148	155

En ne tenant pas compte de l'azote nitrique provenant de la matière organique du sol, on voit que dans tous les cas la presque totalité de l'azote ajouté s'est nitrifié en quelques mois.

L'azote organique des quatre engrais expérimentés se transforme facilement en azote ammoniacal, et si cet azote ammoniacal persiste assez longtemps dans la terre ordinaire, il se transforme rapidement en azote nitrique quand elle est additionnée de carbonate de chaux.

Ce retard dans la nitrification du sulfate d'ammoniaque dans nos terres n'est pas une raison pour en conclure à son infériorité comme engrais; l'expérience journalière prouve le contraire, mais cette constatation vient à l'appui de l'opinion qui admet, suivant leur nature et les circonstances dans lesquelles ils se trouvent placés, l'utilisation directe de l'ammoniaque par les végétaux.

D'un autre côté, la facile nitrification des engrais azotés employés dans ces engrais démontre leur grande assimilabilité et indique que c'est bien à tort que leur valeur est souvent méconnue; elle indique encore qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre certains engrais, ainsi que quelques planteurs le supposent, mais que le prix de revient de la matière azotée à ajouter dans les mélanges est de beaucoup plus générale que ce qui a lieu habituellement.

Il se trouve parfois sur le marché des matières fertilisantes qui sont offertes à un prix très inférieur à leur valeur intrinsèque, parce qu'elles n'ont pas le dosage de celles dont la vente est courante ou parce qu'elles sont différentes de celles employées habituellement dans la fabrication des mélanges. Il n'est pas possible de les y faire entrer, parce qu'elles modifieraient la formule à laquelle l'acheteur tient essentiellement, mais elles permettraient souvent d'obtenir un engrais plus économique et de même valeur agricole que celui qui sera composé avec des matières premières dont le prix peut subir momentanément une hausse sensible.

La nitrification de l'azote ammoniacal dans la terre qui a été amendée avec du carbonate de chaux paraît plus lente au début que celle de l'azote organique et semble devenir au contraire plus active au bout de quelques mois.

Une autre terre plus riche en matière organique totale et qui con-

tenait 0.308 d'azote organique p. 100 a reçu 0gr,170 d'azote par le sulfate d'ammoniaque et le sang desséché; l'azote nitrique formé pendant les deux premiers mois a été le suivant, les terres ayant été mises en expérience le 7 janvier 1897.

	AZOTE NITRIQUE fourni le		
	21 janvier.	12 février.	4 mars.
Terre avec sang desséché :			
Terre normale	18	37	50
+ 5 p. 100 de sable calcaire	21	102	131
Terre avec sulfate d'ammoniaque :			
Terre normale	7	17	27
+ 5 p. 100 de sable calcaire	8	46	66

L'addition de chaux ou de carbonate de chaux à la terre active la nitrification en fournissant une base capable de saturer l'acide nitrique qui se forme aux dépens de l'ammoniaque, mais dans certains cas, quand cette base manque pour saturer l'acide, il paraît se former du nitrate d'ammoniaque quand cette dernière base préexiste dans le sol, ainsi, dans la première expérience relatée plus haut, la terre n° 4 contenant du sang et la terre n° 5 contenant du sang et du sable calcaire ont été épuisées par de l'eau distillée. Pour 1000 d'acide nitrique formé et dosé, dans la solution il y avait 481 de chaux et 30 de magnésie dans le n° 5 et seulement 201 de chaux et 65 de magnésie dans le n° 4 qui n'avait pas reçu de chaux, quantité absolument insuffisante pour saturer l'acide nitrique qui aurait exigé, pour former du nitrate de chaux, 518 de chaux p. 1000 d'acide nitrique; dans les deux échantillons, il y avait des traces de potasse, de soude, mais en quantité trop faible pour saturer l'acide nitrique formé.

Cet acide n'a donc pu l'être que par l'ammoniaque formée aux dépens de l'azote organique de l'engrais et qui persiste longtemps sous cet état dans la terre non additionnée de carbonate de chaux.

Dans l'emploi des engrais, il y a lieu de tenir compte du climat et des conditions dans lesquelles ils se trouveront vis-à-vis des plantes qui auront à les utiliser. On sait que la nitrification est en rapport

avec la température du sol et de son humidité, du moins dans certaines limites ; c'est-à-dire jusqu'à 35° ou 40° pour la température et pourvu que l'eau ne soit pas stagnante ou la terre sursaturée de façon à y empêcher la libre circulation de l'air.

Dans notre climat, la chaleur est toujours très favorable à cette transformation, puisque la température moyenne journalière ne varie guère qu'entre 15° et 32° ou 33° annuellement, c'est-à-dire que la nitrification peut toujours être active, mais c'est pendant la saison chaude, de décembre à juin ou juillet, qu'elle rencontre toutes les conditions nécessaires, chaleur et humidité.

Depuis le mois de juillet à novembre ou décembre, c'est-à-dire jusqu'à l'arrivée des premières pluies, l'humidité du sol est parfois insuffisante pour permettre aux ferments nitriques d'agir énergiquement et, à plus forte raison, pour enlever les nitrates formés antérieurement ou apportés par les engrais, de sorte que la perte de nitrate par lévigation du sol n'est réellement à craindre que pendant les pluies torrentielles amenées par le passage d'un cyclone plus ou moins rapproché de l'île.

Dans ces cas exceptionnels et lorsque la terre a déjà été imbibée par des pluies précédentes, les pertes de nitrate paraissent inévitables, de sorte qu'il n'est pas à recommander de faire de fortes fumures au nitrate au début de la saison pluvieuse.

Les engrais à azote organique seront alors avantageux, puisque leur nitrification se fait progressivement, et les nitrates seront employés lorsque ce danger ne sera plus à craindre.

Il ne faudrait cependant pas croire qu'une fumure partielle au nitrate sera perdue complètement, car à cette époque de l'année la végétation de la canne est excessivement vigoureuse et la plus grande partie de l'acide nitrique sera rapidement absorbée et utilisée. Cette perte sera donc réduite pour les repousses, mais si les cannes vierges viennent d'être plantées, elles n'auront pas encore complètement pris possession du terrain, dont la majeure partie restera découverte et soumise aux inconvénients du lavage par les eaux pluviales.

C'est surtout pour cette raison que les cultures intercalaires, c'est-à-dire entre les lignes, pourront être pratiquées sans inconvénients pour les jeunes plantations ; le terrain entre les lignes reste absolu-

ment inutilisé pendant plusieurs mois, et si des pluies abondantes surviennent, elles pourront entraîner les nitrates formés, puisque la jeune canne n'occupe qu'une partie restreinte du sol, et en dehors de toute autre considération, il serait avantageux de l'utiliser par une culture quelconque.

Le choix de la plante à employer dépend des circonstances locales et de l'époque de la plantation des cannes vierges; il faudra autant que possible une culture occupant le terrain pendant les grandes pluies et ne prenant pas un trop grand développement, il faudra en outre qu'on puisse la récolter avant le moment où la canne, prenant possession du terrain, serait gênée dans sa croissance. On voit donc que le choix est assez limité pour remplir ce but spécial, la plupart des plantes pouvant être cultivées entre les lignes de cannes ne s'accommodant pas très bien des grandes pluies et de la haute température des premiers mois de l'année, ne pourront être exploitées que dans certaines localités où la plantation de la canne est tardive. La localité, l'époque de plantation de la canne, et les diverses circonstances locales, détermineront donc la culture qui pourra utiliser le terrain pendant cette époque, culture qui, au point de vue absolu, épuisera le sol d'une certaine quantité de principes fertitisants, mais qui, dans la généralité des cas, ne nuira pas plus à la culture principale que les mauvaises herbes qui l'envahissent trop fréquemment.

Le Réduit, avril 1897.

L'AZOTE

ET LA

VÉGÉTATION FORESTIÈRE

Par E. HENRY

CHARGÉ DE COURS A L'ÉCOLE FORESTIÈRE [1]

Les arbres de nos forêts ont un besoin aussi impérieux d'azote que les plantes agricoles.

Cet élément, associé au carbone et à l'eau, constitue le groupe si varié et si important des matières protéiques, entre autres le protoplasma, l'élément fondamental de toute cellule vivante.

En admettant les chiffres des forestiers bavarois, une forêt de hêtre, la forêt de Haye par exemple, produit annuellement au moins 3 000 kilogr. de bois et 3 000 kilogr. de feuilles, bois et feuilles supposés desséchés à 100°. Les 3 000 kilogr. de bois renferment de 15 à 25 kilogr. d'azote suivant qu'on admet les taux de 0.5 p. 100 ou de 0.8 p. 100 qui sont à peu près les extrêmes, et les 3 000 kilogr. de feuilles contiennent, à leur chute, 30 kilogr. d'azote d'après des analyses de feuilles de hêtre, chêne, charme de la forêt de Haye. C'est donc un chiffre total de 45 à 55 kilogr. d'azote par hectare que la forêt absorbe et qu'il lui faut trouver sous peine de voir sa production diminuer et les arbres manifester les symptômes de l'inanition azotique.

1. Communication faite à la Société des Sciences de Nancy dans la séance du 1er juin 1897.

La différence capitale avec les plantes agricoles consiste en ce que celles-ci sont, pour la plupart, beaucoup plus exigeantes en azote et qu'elles ne restituent au sol rien ou presque rien des principes albuminoïdes qu'elles ont absorbés, tandis que la forêt, à la fin de chaque saison de végétation, rend au sol, sous forme de feuilles mortes (que les forestiers appellent la couverture), la plus grande partie des matières azotées et minérales empruntées à l'air et au sol. Dans la culture agricole, il ne reste au champ que l'azote des racines (céréales, prairies artificielles) et même pas dans certaines récoltes (betteraves). Aussi les agriculteurs sont-ils obligés de rapporter de temps en temps de l'azote combiné (engrais vert, fumier, sels ammoniacaux, nitrates) pour entretenir la fertilité de leurs sols[1].

On n'apporte jamais d'engrais à la forêt, et malgré les déperditions incessantes d'azote dues à l'enlèvement des bois exploités et aux décompositions chimiques, la vie végétale s'y reproduit indéfiniment et le sol forestier, au lieu de s'appauvrir en azote, s'enrichit, comme il est facile de le constater dans le boisement des sols nus. Il faut donc qu'il y ait des gains qui viennent compenser, et au delà, les pertes.

Quelles sont les causes de gain et de perte d'azote combiné en culture forestière?

Cette question, d'importance capitale en agriculture, qui a été et qui est encore si ardemment discutée par les chimistes et les agronomes, qui a suscité tant de controverses passionnées et tant de travaux remarquables, qui est du reste loin d'être épuisée aujourd'hui, mérite d'être envisagée spécialement au point de vue de la forêt, parce que, en raison de la durée et des exigences des essences forestières, en raison du couvert et de la couverture, de l'absence de culture du sol, et d'autres circonstances encore, les processus chimiques et biologiques y sont souvent autres qu'en plein champ.

Gains. — Le sol forestier peut s'enrichir en azote :

1° Par l'apport aux plantes ou au sol d'azote combiné venant de l'atmosphère ou des eaux météoriques;

---

1. Les sols indéfiniment fertiles sans fumure (terres noires de Russie) sont de très rares exceptions.

2° Par les matières azotées qui retournent chaque année au sol sous forme de détritus végétaux et animaux ;

3° Enfin par la portion de l'azote gazeux qui pourrait être fixée soit par les plantes vivantes, soit par les matières organiques mortes, soit par les éléments minéraux du sol.

On ne voit pas d'autres causes possibles d'augmentation dans le taux de l'azote combiné.

Pertes. — Le sol forestier s'appauvrit en azote :

1° Par la consommation des plantes herbacées ou ligneuses qu'il nourrit. Nous venons de dire que cette consommation s'élevait à 50 kilogr. environ d'azote par hectare et par an, dont une vingtaine est contenue dans le bois, c'est-à-dire dans la récolte exportée et ne fait pas retour au sol ;

2° Par la portion d'azote combiné non retenue dans les couches superficielles du sol et entraînée avec les eaux de drainage ;

3° Par la portion d'azote combiné qui, dans les divers processus de décomposition des matières organiques, retourne à l'état d'azote gazeux dans l'atmosphère.

On ne voit pas d'autres causes possibles de diminution.

En faisant la balance des gains et des pertes, on saura si le sol de la forêt s'enrichit ou s'appauvrit en cet élément si parcimonieusement départi même aux sols agricoles et d'une si grande importance pour la végétation.

Des analyses chimiques faites à des intervalles suffisamment éloignés permettront de contrôler la première méthode.

Examinons d'abord le côté : *Pertes d'azote.*

Elles résident essentiellement dans la quantité d'azote contenue dans le bois exporté.

Des deux autres causes de déperdition, celle due aux eaux de drainage, ne se rencontre pas en culture forestière, par la raison qu'il n'y a pas de nitrification dans le sol forestier. Or, c'est seulement l'azote à l'état de nitrate qui est entraîné par les eaux de drainage. Dans les champs cultivés où la nitrification est énergique, surtout après l'épandage des engrais, et dans les terres en jachère, il y a de ce chef une perte très importante d'azote.

M. Dehérain[1] a trouvé dans les eaux de drainage de 4 cases, en 1895, de 110 à 130 gr. d'azote nitrique par mètre cube. De ces taux combinés avec la quantité d'eau écoulée, quantité variable suivant que le sol a été ou non travaillé, il conclut que 84 à 144 kilogr. d'azote nitrique par hectare ont été emportés par les eaux de drainage.

Rien de tel ne se passe en forêt, où même les sols calcaires, comme je viens de m'en assurer, ne nitrifient pas.

Le 20 mai 1897, j'ai pris 10 échantillons de sols voisins, les uns en plein air, les autres sous bois ; 30 gr. ont été triturés dans 25 centimètres cubes d'eau distillée ; après un jour de macération, une ou deux gouttes projetées dans 4 gouttes de sulfate de diphénylamine donnent une auréole bleue, pourvu qu'il y ait une trace de nitrate. Pour apprécier l'extrême sensibilité de ce réactif, dissolvons un centigramme de nitrate de potasse dans un litre d'eau distillée : *une seule goutte* de cette dissolution tombant au milieu de la petite masse liquide formée par les 4 gouttes de diphénylamine y détermine presque immédiatement une auréole d'un bleu intense.

3 échantillons de sol, pris en trois points d'une pièce de terre nue de la pépinière de Bellefontaine, n'ayant pas reçu d'engrais depuis deux ans, ont accusé très nettement la réaction des nitrates ; 2 échantillons de sol pris en même temps dans la forêt, à 50 mètres des précédents, sous un massif plein de hêtres à l'état de haut perchis, n'ont pas donné la moindre coloration bleue ; ils ne nitrifiaient donc point, pas plus qu'un échantillon de sol pris dans la pépinière même, mais sous un gros hêtre couvrant un sol tassé et enherbé ; pas plus que deux autres échantillons pris dans le bois de M. Hinzelin. Au contraire, 2 terres, prises l'une dans un champ fraîchement labouré au-dessous de la pépinière, l'autre aux abords de Maxéville, ont montré nettement l'auréole bleue.

Il y a déjà longtemps que Boussingault, au cours de ses belles recherches sur la nitrification, avait constaté la pauvreté en nitrates du sol des forêts d'Alsace.

D'autre part, Ebermayer, l'éminent professeur de Munich, a pu-

1. *La Jachère.* (*Annales agronomiques*, p. 258. 1896.)

blié en 1888 un important travail sur la *Teneur en nitrate des sols forestiers et des arbres*[1].

« L'examen de plus de cent échantillons de sols prélevés en autant de points différents, la plupart dans les montagnes de Bavière, lui a montré que les sols forestiers et les tourbes sont ou absolument exempts de nitrate ou n'en renferment que des traces, tandis que les sols des champs et ceux des jardins, fumés avec des excréments, fumier, purin, se sont, sans exception, montrés très riches en ce précieux aliment des plantes. Le terreau noir, qui s'accumule parfois en masses d'une épaisseur considérable dans certaines forêts des Alpes bavaroises, est lui-même dépourvu de nitrates ou n'en contient que des traces. D'après Ebermayer, il n'existe donc pas de microbes nitrificateurs dans le sol des forêts ni dans la tourbe. En d'autres termes, dans toutes les terres dont l'humus est de provenance exclusivement végétale, les conditions générales sont tout à fait défavorables à la nitrification et la décomposition des principes azotés des végétaux semble être limitée à la formation de l'ammoniaque. » (Grandeau.)

M. Bréal[2] a constaté aussi qu'on ne rencontre de nitrates ni dans la terre des prairies, ni dans le sol des forêts. Comme la nitrification exige la présence dans le sol d'éléments alcalins, il pouvait se faire que l'absence du ferment nitrique fût due à l'absence de chaux dans les sols forestiers expérimentés ou à leur acidité. C'est pourquoi j'ai pensé qu'il n'était pas inutile de refaire ces essais dans la forêt de Haye dont le sol superficiel est si près du calcaire en place et recouvert d'une si faible couche de feuilles mortes. Si de telles forêts ne nitrifient pas, aucune ne doit nitrifier. Les premiers essais ont été négatifs, mais ils sont trop peu nombreux pour que je puisse affirmer qu'il ne se forme pas d'acide nitrique dans le sol des forêts calcaires. Je me propose de reprendre cet examen à une époque plus favorable, à la fin de l'été, quand la nitrification est à son maximum.

S'il ne se forme pas de nitrates dans le sol des forêts, cela tient

---

1. Voir *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.* Fascicule du mois d'août 1888, analysé dans *Études agronomiques,* par L Grandeau, 4e série (1888-1889).

2. *Annales agronomiques,* t. XIII, p. 561.

peut-être à ce qu'il s'y trouve d'autres ferments réducteurs des nitrates.

MM. Gayon et Dupetit, Dehérain et Maquenne ont prouvé que, dans une atmosphère réductrice, la décomposition des nitrates a pour agents des organismes microscopiques qu'ils ont appelés *Bacillus denitrificans*, puisqu'ils agissent en sens inverse du *Bacillus nitrificans*, cause première de la nitrification. M. Bréal a montré que ces organismes dénitrificateurs, qui existent dans les pailles et, sans doute, dans tous les débris végétaux, décomposent les nitrates pour en faire entrer partiellement l'azote dans une combinaison organique et qu'en outre cette transformation est accompagnée d'une perte d'azote qui retourne dans l'atmosphère sous forme de gaz.

« Dans le sol des prairies permanentes et des forêts, qui est si abondamment pourvu de matières végétales mortes, ce ferment aérobie réducteur des nitrates doit être très répandu, dit M. Bréal, et s'opposer à toute nitrification. »

D'autre part, tous les expérimentateurs reconnaissent que dans la nitrification, c'est-à-dire dans la transformation des sels ammoniacaux ou des amines primaires en nitrate, il y a aussi un dégagement d'azote gazeux quand l'oxygène est surabondant.

Donc, qu'il y ait ou non nitrification, une partie de l'azote combiné, partie qu'il est difficile de déterminer, quitte le sol à l'état d'azote gazeux sans profit pour la végétation.

En somme, deux causes de perte :

L'une très importante, résultant de l'enlèvement de la récolte et se chiffrant par une vingtaine de kilogrammes ;

L'autre, moins importante, mais qu'il est impossible d'évaluer rigoureusement, résultant du retour dans l'atmosphère sous forme d'azote libre d'une partie de l'azote organique pendant les multiples transformations de celui-ci.

Voyons maintenant les causes de gain.

Il y en a trois possibles, avons-nous dit, que nous examinerons successivement.

La première est l'apport aux plantes ou au sol d'azote combiné venant de l'atmosphère ou des eaux météoriques.

On sait, depuis Liebig, Boussingault et autres, que les eaux mé-

téoriques (pluie, brouillard, rosée, neige) renferment de l'ammoniaque et de l'acide nitrique. Boussingault a trouvé, comme termes extrêmes dans l'eau de pluie, $0^{mg},11$ à $3^{mg},49$ d'ammoniaque par litre. La moyenne a été, pour 1853, de $0^{mg},42$ par litre et de $0^{mg},18$ pour l'acide nitrique. Le brouillard renfermait de $2^{mg},56$ à $49^{mg},1$ d'ammoniaque par litre d'eau condensée. Dans six stations allemandes, les quantités d'azote combiné trouvées dans l'eau de pluie ont oscillé entre $0^{mg},29$ et 13 milligr. par litre. On voit et on comprend que ces taux sont très variables suivant les localités et les années.

MM. Lawes, Gilbert et Way ont évalué à 8 kilogr. la quantité d'azote combiné reçue par un hectare dans un an :

A Proskau on a trouvé	23^{kg}
A Regenwald	17
A Insterbourg	6 ,2
A Kuschen	2 ,1

En tous cas, ces quantités, qui varient du simple au décuple, sont faibles.

Il y a aussi dans l'air, quoique en très faible proportion, du carbonate d'ammoniaque qui, d'après les expériences de Sachs, Schlœsing, Mayer, Müntz, etc., peut être absorbé soit par les feuilles, soit par le sol.

M. Schlœsing a trouvé, pour la moyenne générale de toute une année, $2^{mg},25$ d'ammoniaque dans 100 mètres cubes d'air. M. Müntz est arrivé au même résultat. Des expériences de M. Müntz, commencées en 1886 et finies en 1895, il résulte que les jus végétaux absorbent l'ammoniaque (qu'ils soient alcalins ou acides) et avec autant d'énergie que de l'acide sulfurique à 2 p. 100 jusqu'au point de saturation. Les feuilles vivantes l'absorbent aussi, mais en proportion *beaucoup moins forte;* ce pouvoir absorbant ne représente que 3 à 5 p. 100 de la faculté absorbante du liquide végétal, et M. Müntz arrive à cette conclusion[1] « que l'agriculture ne saurai compter sur l'ammoniaque atmosphérique pour fournir un appoint sensible d'éléments azotés. Cet appoint existe, mais il ne doit pas

1. *Annales de la Science agronomique française et étrangère,* t. Ier, p. 207. 1896.

être regardé comme supérieur à celui que fournissent les eaux pluviales qui apportent à la végétation de l'ammoniaque et de l'acide nitrique qu'elles ont dissous pendant leur passage dans l'eau. *En évaluant de 5 à 6 kilogr. la somme de l'azote apporté à la végétation d'un hectare, tant par l'absorption directe de l'ammoniaque gazeuse que par l'apport des eaux météoriques, j'estime qu'on ne saurait beaucoup s'éloigner de la vérité.* »

Il est certain que si l'ammoniaque des eaux météoriques n'est absorbée par les feuilles qu'en proportion insignifiante, tout le reste est fixé par le sol en vertu de son pouvoir absorbant, qui s'exerce sur l'ammoniaque comme sur la potasse et l'acide phosphorique ; il ne s'en perd pas un atome. On ne peut être aussi affirmatif pour les traces d'acide nitrique qui tombent sur le sol forestier ; cependant, en raison de la rareté des nitrates en forêt et de l'avidité des végétaux pour ces sels, il est très probable que tout est absorbé ; nous avons déjà dit qu'on ne trouvait pas d'acide nitrique ou seulement des traces dans les eaux de drainage des sols forestiers.

Ce pouvoir absorbant du sol pour l'ammoniaque est tel, qu'il fixe non seulement celle des pluies, mais celle de l'atmosphère qui provient essentiellement, affirme M. Schlœsing, de l'évaporation qui s'exerce à la surface des mers. On connaît les idées ingénieuses que M. Schlœsing a émises sur la circulation de l'azote combiné à la surface du globe.

Des essais faits sur des terres sèches et humides, calcaires ou non, ont montré à M. Schlœsing que le sol emprunte de l'ammoniaque à l'air et ne lui en cède point. Les terres sèches, incapables de nitrifier, ont absorbé, on le comprend, moins d'ammoniaque que les terres humides, où la nitrification est incessante l'été ; dans celles-ci, l'ammoniaque est constamment transformée en nitrates ; l'équilibre de tension ne peut donc s'établir, et la terre demeure en état d'absorber indéfiniment l'alcali de l'air. L'absorption est par suite subordonnée à la rapidité de la nitrification.

Deux lots de 50 gr. de terre fine, sèche, inapte à nitrifier, exposée à l'air, mais à l'abri de la pluie, ont passé, dans l'espace de un mois et demi (1er août-15 septembre 1875), du taux de $0^{mg},747$ à celui de $2^{mg},504$ pour une terre calcaire et de $0^{mg},219$ à $4^{mg},145$

pour une terre non calcaire. Cette absorption est nécessairement limitée par l'équilibre de tension ; il n'en est plus ainsi pour les terres humides aptes à nitrifier. M. Schlœsing a trouvé qu'un hectare aurait fixé dans un premier essai de 14 jours $2^{kg},590$ d'ammoniaque, et dans un deuxième essai de 28 jours $4^{kg},097$, soit en un an 63 kilogr. pour la première terre et 53 kilogr. pour la deuxième. Mais la nitrification n'ayant lieu que l'été, ces chiffres, pour se rapprocher de la réalité, doivent être fort diminués, au moins de moitié. Du reste, nous n'avons pas à nous préoccuper ici de cet appoint d'azote très important pour les terres humides aptes à nitrifier, puisque les forêts ne nitrifient pas. Leur sol, même humide et en plein été, se comporte toujours comme des terres nues sèches et nous en restons toujours jusqu'ici, pour les forêts, aux 5 à 6 kilogr. (évaluation de M. Müntz), aux 10 à 15 kilogr. (évaluation de M. Berthelot) fournis par hectare, tant par l'absorption directe de l'ammoniaque gazeuse que par l'apport des eaux météoriques. C'est tout à fait insuffisant pour combler le déficit produit dans le capital azoté primitif par l'exportation des 20 kilogr. d'azote du bois des coupes et par le retour à l'état d'azote gazeux d'une portion de l'azote combiné de la couverture.

Et s'il n'y avait que les causes réparatrices énoncées ci-dessus, les forêts iraient constamment en s'appauvrissant en azote, ce qui n'est pas ; il doit donc y en avoir d'autres.

Avant qu'on eût prouvé que certains végétaux avaient le pouvoir de fixer dans leurs tissus l'azote gazeux de l'air, c'est l'apport incessant d'ammoniaque dû surtout aux vents d'ouest pour la France qui compensait, dans les idées de M. Schlœsing, la différence entre la perte d'azote par les récoltes et les eaux souterraines et le gain certainement moindre dû aux effluves électriques.

C'était la théorie admise jusqu'au jour où Hellriegel et Wilfarth ont montré, de la façon la plus nette, que les légumineuses fixaient dans leurs nodosités, à l'aide des bactéries qui y vivent, l'azote gazeux de l'air et ont prouvé irréfutablement la justesse des idées soutenues par G. Ville d'abord, par M. Berthelot ensuite, mais contestées par le plus grand nombre jusqu'en 1888.

La deuxième cause de gain consiste, avons-nous dit, dans les

matières azotées qui retournent chaque année au sol sous forme de détritus végétaux et animaux.

Mais ce n'est pas là une cause d'enrichissement, puisque les principes azotés de la couverture provenaient déjà du sol; ils ne font qu'y retourner; c'est une simple restitution, même pas intégrale, puisqu'une notable partie des principes azotés émigre dans le bois avant la chute des feuilles et puisqu'il est prouvé que les multiples transformations des matières azotées s'accompagnent toujours d'un dégagement d'azote gazeux.

Il ne pourrait y avoir enrichissement du sol forestier en azote par la couverture, qu'en admettant que la quantité d'azote combiné qui a été puisée dans l'air et les eaux météoriques soit supérieure aux quantités perdues par l'exportation du bois et le départ d'azote libre dans les transformations des matières organiques : ce qui ne peut être, quelque optimisme que l'on montre à cet égard.

Mais il y a une troisième cause de gain possible.

Si le sol ou les plantes pouvaient prendre directement dans l'air une partie de l'azote libre (qui forme les 4/5 de l'atmosphère) sans qu'il fût besoin que cet azote fût préalablement combiné à l'hydrogène ou à l'oxygène, les craintes légitimes exprimées si souvent sur l'insuffisance des sources de l'azote des végétaux et, par suite, sur l'entretien de la vie animale à la surface du globe s'évanouiraient, les plantes ou le sol ayant à leur disposition un réservoir d'alimentation inépuisable.

On sait que les animaux ne fixent directement dans leur corps ni l'azote gazeux de l'air, ni l'ammoniaque, ni l'acide nitrique ; ils empruntent tout leur azote aux matières protéiques des plantes et, d'autre part, on croyait, jusqu'en 1888, que celles-ci, à leur tour, pouvaient bien utiliser l'ammoniaque et l'acide nitrique de l'air, mais en aucune façon l'azote gazeux.

Voici en quelques mots les principales étapes de la question depuis 1838.

1838.—A cette date, Boussingault a fait ses premières expériences: il constate un léger gain d'azote dans le trèfle et les pois, aucun dans le froment et l'avoine. Sans se prononcer catégoriquement, il penche pour une fixation de l'azote de l'air par les légumineuses.

1849-1852. — M. George Ville affirme, à la suite de ses expériences, que les végétaux assimilent l'azote gazeux.

1851-1853. — Boussingault, dans une seconde série d'essais exécutés avec tout le soin possible, conclut à la non-fixation de l'azote gazeux, même par les légumineuses (lupin, haricot).

1861. — Lawes, Gilbert et Pugh, en présence de ces assertions contradictoires, firent au laboratoire de Rothamsted de nombreuses expériences qui durèrent trois années. Ils s'entourèrent des précautions les plus minutieuses. Les conclusions de leur magistral travail[1] sont conformes à celles de Boussingault.

Il semblait donc qu'on pût dire en toute assurance en 1879, comme le fait M. Grandeau dans son *Cours d'agriculture*[2], p. 446 : « La question est désormais vidée : les végétaux n'absorbent pas l'azote libre. »

Cependant, il faut remarquer que les chimistes anglais, dans les conclusions très prudentes de leur beau mémoire, ne parlent pas des légumineuses avec la même assurance que des graminées. Voici ce qu'ils écrivaient en 1861[1] : « En exécutant de nombreux essais sur les graminées et en faisant varier dans de larges limites les conditions de végétation, on n'a jamais reconnu qu'il y eût assimilation d'azote libre.

« Dans les expériences sur les légumineuses, la végétation fut moins satisfaisante et les limites de variation furent moindres ; mais les résultats enregistrés n'indiquent aucune assimilation d'azote libre. *Il serait désirable que de nouvelles expériences fussent reprises sur ces mêmes plantes dans des circonstances plus favorables.* » C'est à Hellriegel et à ses collaborateurs qu'était réservé le grand honneur d'exécuter enfin ces expériences si ardemment désirées par le monde agricole, de les exécuter de telle façon qu'il n'y ait plus de place pour le doute et la controverse, et de jeter enfin la lumière sur cette obscure et difficile question qui, depuis cent ans, depuis Priestley, Ingenhoutz et de Saussure, passionnait les chimistes et les

1. On the sources of the nitrogen on vegetation. *Phil. Trans.* T. II, p. 431-577. 1861.

2. *Cours d'agriculture de l'École forestière,* par L. Grandeau. Berger-Levrault et Cie, 1879, p. 446.

agronomes et avait donné lieu à tant de travaux et tant de discussions.

Le mémoire de Hellriegel, Wilfarth et de leurs collaborateurs est de novembre 1888.

Les principaux résultats en avaient été annoncés en 1887.

Dans cet intervalle, il a paru un certain nombre de recherches sur la fixation de l'azote par le sol et les plantes. Voici les plus importantes.

1873. — M. Dehérain publie des expériences desquelles il résulterait que l'azote atmosphérique aurait la propriété de se combiner avec certaines substances ternaires, cellulose, glucose, etc., et, par induction, avec les matières organiques du sol en voie de décomposition. Mais M. Schlœsing a montré les causes d'erreur de ces expériences et, en les répétant dans de meilleures conditions, n'a obtenu aucune fixation d'azote.

1875. — M. Berthelot affirme que certaines substances organiques non azotées (cellulose, benzine, essence de térébenthine) peuvent, sous l'influence de l'effluve électrique, fixer l'azote gazeux de l'air.

1885. — Dix ans plus tard, M. Berthelot fait connaître une nouvelle condition, plus générale, de fixation de l'azote gazeux : c'est l'action sourde mais incessante des sols argileux et des organismes microscopiques qu'ils renferment.

Dans un second mémoire (1886), il examine la nature et la proportion de la matière organique contenue dans ces terrains, matière qui constitue la trame des êtres vivants microscopiques, aptes à fixer l'azote atmosphérique.

M. Berthelot étudie ensuite la fixation de l'azote, non plus sur des sables argileux et des kaolins, mais sur la terre végétale elle-même et, dans un mémoire postérieur, cette fixation sur la terre végétale avec le concours de la végétation. « En résumé, dit-il, dans ces expériences, il y a eu fixation d'azote en proportion considérable :

« 1° Sur les sables et sols argileux, aussi bien que sur la terre végétale proprement dite, lorsque j'ai opéré en l'absence de la végétation ;

« 2° Sur la terre et la plante réunies, lorsque j'ai opéré en présence de la végétation. »

En somme, au moment où parut le mémoire de Hellriegel, on savait, par les travaux de M. Berthelot, que les sols avec les organismes microscopiques qu'ils renferment pouvaient fixer l'azote atmosphérique ; mais on ne connaissait aucun de ces microorganismes, on ne les avait pas vus, pas isolés; on ne savait rien de leur manière d'agir et enfin leur présence supposée dans le sol n'expliquait pas la faculté remarquable des légumineuses seules de prospérer dans un sol privé d'azote combiné et d'en emmagasiner dans leurs tissus des quantités considérables.

Les botanistes avaient signalé depuis longtemps l'existence de nodosités sur les racines des légumineuses; Woronine le premier, dès 1866, a appelé l'attention sur les innombrables corpuscules de leur protoplasma, corpuscules qui ressemblent beaucoup à des micrococcus, à des bacilles, et il admettait que ce sont en effet des microbes, vivant en symbiose avec les légumineuses et fabriquant des aliments au profit de l'association. Mais personne n'avait songé qu'il y eût une relation entre les tubercules radicaux et la fixation de l'azote. C'est la démonstration absolument nette et convaincante de cette relation qui constitue la grande découverte d'Hellriegel. Voici les principales conclusions de ce mémoire qui marque une date importante dans la science agronomique[1] :

« L'assimilation et la production des céréales, orge et avoine, ont toujours été presque uniformément nulles dans un sol dépourvu d'azote, qu'il fût ou non stérilisé.

« Par une addition de nitrate, une végétation normale se manifestait alors dans ces plantes et leur développement était toujours dans un rapport à peu près direct avec la quantité de nitrate donnée (90 à 100 de substance sèche pour 1 d'azote du sol).

« Rien n'a indiqué que les céréales puisent ou qu'il leur soit possible de puiser dans d'autres sources que le sol une quantité appréciable de l'azote employé à leur nutrition.

« Les légumineuses expérimentées (pois, serradelles, lupins) se sont exactement comportées comme les céréales dans un milieu de

1. On trouvera une excellente traduction du Mémoire de Hellriegel dans les *Annales de la Science agronomique française et étrangère*. 7e année, 1890. T. Ier, p. 84-350.

culture stérilisé et maintenu en état de stérilisation, c'est-à-dire que la croissance et l'assimilation ont été chez elles toujours et uniformément à peu près nulles.

« C'est le cas qui s'est trouvé réalisé dans les expériences de Boussingault (1853).

« Les nitrates y produisaient le même effet que les céréales.

« On était certain d'obtenir la croissance des légumineuses dans un sol dépourvu d'azote en donnant au sol un peu de délayure d'une terre fertile. Non seulement on obtenait ainsi une végétation normale, mais parfois un développement d'une luxuriance étonnante, et, dans ce cas, la récolte accusa constamment un excédent d'azote souvent fort élevé qui ne pouvait avoir son origine dans le sol. »

Il fallait en conclure que la délayure de la terre fertile avait apporté les germes des bactéries qui se fixent sur les racines en y produisant les nodosités et qui savent faire servir l'azote atmosphérique à la constitution des matières azotées des légumineuses.

Ces faits ont été depuis vérifiés maintes fois « et la pratique agricole, ainsi que le dit M. Dehérain, a tiré parti de ces observations. Elle a pu faire développer des légumineuses sur des terres rebelles jusque-là à cette culture en les *terrant* à l'aide de sols fertiles[1]. »

Or, les sols forestiers abondent en légumineuses, surtout les sols les plus pauvres, les sols siliceux, et c'est précisément dans ce cas, lorsque le sol ne leur offre pas une dose suffisante d'azote combiné, que les légumineuses complètent ce qui leur manque sous ce rapport en puisant dans l'azote élémentaire de l'atmosphère.

Dans maintes forêts en sol siliceux, tantôt le genêt à balai, tantôt l'ajonc, tantôt les deux mêlés à beaucoup d'autres papilionacées (genêts, cytises, bugranes) forment une bonne partie du sous-bois, tandis que sur les sols calcaires on verra en abondance des caly-

1. M. Mazé vient de montrer tout récemment (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. XI, p. 44) que les légumineuses fournissent aux microbes des nodosités l'azote organique indispensable aux premières générations ; alors seulement ils peuvent fixer l'azote libre de l'air qui, dans l'expérience de M. Mazé, a fourni jusqu'aux 2/3 de l'azote contenu dans le milieu à la fin de l'essai.

cotomes, des cytises, des coronilles, des genêts, des bugranes, des adénocarpes, des spartiers d'Espagne, pour ne parler que des plantes ligneuses.

La découverte d'Hellriegel intéresse donc la culture forestière, puisqu'elle nous fait toucher du doigt une de ces causes compensatrices des pertes d'azote que subissent tous les sols forestiers.

Mais il y en a, je crois, une plus importante et plus générale qui a passé jusqu'alors inaperçue : je veux parler de la fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes.

En novembre 1894, j'ai cueilli sur de jeunes chênes et charmes de la forêt de Haye, des feuilles mortes encore adhérentes aux rameaux. Je les ai laissées dessécher à l'air du laboratoire, puis à 100°. Les feuilles de chêne contenaient alors 9.73 p. 100 d'eau et celle de charme 12.70 p. 100, avec un taux d'azote de 1.108 p. 100 pour le chêne et de 0.947 p. 100 pour le charme.

$53^{gr},130$ de feuilles de chêne séchées à l'air et correspondant à $48^{gr},96$ de feuilles à 100° ont été placés dans une caisse en zinc de $0^{m},50$ de côté dont le fond était garni d'une plaque de calcaire et qui était recouverte d'un grillage en fil de fer galvanisé.

Un autre lot des mêmes feuilles, équivalant à $53^{gr},54$ de feuilles desséchées à 100°, fut placé dans une autre caisse en zinc garnie d'une plaque de grès bigarré.

Enfin, deux autres lots de feuilles de charme correspondant tous deux à $43^{gr},65$ de feuilles desséchées à 100° furent mis en même temps dans deux autres caisses en zinc pareilles aux précédentes.

Ces caisses furent exposées en plein air sur un support de $0^{m},60$ de hauteur, à l'abri des émanations du sol et de toute source d'ammoniaque.

Je me proposais, en installant ces essais, un double but : 1° étudier la rapidité de décomposition des feuilles de diverses essences suivant la nature du substratum (calcaire ou grès) ; 2° suivre les modifications qualitatives et quantitatives des matières minérales et organiques jusqu'à leur transformation en humus. Parmi ces matières organiques les principes azotés m'intéressaient surtout.

Étant donné que la décomposition des feuilles mortes en présence de l'air (ou humification) est essentiellement due à des microorga-

nismes, comme je l'ai montré en 1886[1], que, d'autre part, cette décomposition est très active et suppose la présence de myriades de microbes, on pouvait penser que ces microbes, qui ne sont, à vrai dire, chimiquement, que de petites masses de protoplasma, c'est-à-dire de matière azotée, compenseraient les pertes que pouvaient éprouver les feuilles mortes dans leur taux de matière azotée par retour d'une partie à l'état d'azote gazeux, peut-être même qu'ils enrichiraient leurs hôtes, les feuilles, en azote, s'il s'en trouvait, parmi eux, quelques-uns qui eussent la même précieuse faculté que les bactéries des racines des légumineuses.

C'est ce dernier cas qui s'est réalisé dans mes expériences.

En décembre 1895, après un an d'exposition à l'air, les feuilles de chêne sur calcaire renfermaient 1.923 p. 100 d'azote et les feuilles de charme sur grès bigarré 2.246 p. 100, les feuilles étant supposées desséchées à 100°.

Le gain a donc été de $0^{gr},815$ d'azote par 100 gr. de feuilles de chêne et $1^{gr},299$ par 100 gr. de feuilles de charme; les taux primitifs étant de 1.108 pour le chêne et de 0.947 pour le charme, on voit que les feuilles sont devenues environ deux fois plus riches en azote qu'elles ne l'étaient au début.

Pendant cette année, les feuilles de chêne ont perdu 21.62 p. 100 de leur poids primitif à 100° et les feuilles de charme 23.01 p. 100. En nous mettant dans le cas le plus défavorable et en supposant, ce qui n'est guère probable, que la disparition n'ait porté que sur les matières ternaires, qu'il ne se soit formé aucun composé ammoniacal ou nitré ou amidé soluble et entraîné par les eaux aux dépens de l'azote primitif des feuilles, le taux de 1.923, rapporté non plus au poids des feuilles en décembre 1895, mais à leur poids au début de l'expérience, devient 1.508.

De même, le taux de 2.246 devient 1.727 avec un gain de $1.508 - 1.108 = 0.400$ p. 100 d'azote pour les feuilles de chêne et de $1.727 - 0.947 = 0.780$ p. 100 pour les feuilles de charme.

1. *Intervention des ferments organisés dans la décomposition de la couverture des sols forestiers.* (*Association française pour l'avancement des sciences.* — Congrès de Nancy, 1886.)

Ainsi, dans les conditions des expériences, les feuilles qui ont passé un an à l'air sont relativement deux fois plus riches en azote que les feuilles mortes qui viennent de tomber sur le sol et elles sont encore plus riches d'une manière absolue. Ce gain d'azote est très important, puisqu'il s'élève, même dans ce dernier cas, à la moitié ou aux deux tiers du taux primitif; il représente, en admettant que le sol de la forêt reçoive, à chaque automne, 3 300 kilogr. de feuilles mortes, un total de $22^{kg},4$ d'azote pour les feuilles de charme et de $13^{kg},2$ pour celles de chêne, c'est-à-dire à peu près le quantum d'azote absorbé par la fabrication du bois.

Cette cause principale d'appauvrissement en azote des sols forestiers se trouve immédiatement compensée par l'activité que mettent les feuilles mortes à accaparer l'azote atmosphérique, si bien qu'en dehors de ces déperditions d'azote par suite des transformations successives des matières azotées, déperditions qu'on ne pourra jamais chiffrer exactement, mais qui sont certainement minimes, on n'aperçoit plus que des sources d'enrichissement en azote pour les sols forestiers, et nous voyons clairement une des causes, peut-être la principale, en tous cas la plus générale, pour lesquelles la culture forestière a toujours été considérée comme essentiellement améliorante, comme la seule qui sût accumuler assez de matières nutritives pour permettre, au bout d'un certain temps, de faire de la culture agricole sur les sols les plus pauvres.

Ainsi, ce lit de feuilles, appelé si justement couverture, qui est déjà si utile par ce que nous connaissions de son rôle physique et chimique, acquiert un nouveau titre à notre reconnaissance par cette remarquable captation d'azote qui est, je crois, mise pour la première fois en lumière[1].

---

1. M. Berthelot a montré en 1885, comme je viens de le rappeler, que, dans ses expériences, il y avait eu fixation d'azote sur des sables, des sols argileux, de la terre végétale. MM. Gautier et Drouin ont établi en 1868 (*C. R.* T. CVI *passim* et T. CXIII, p. 820) « que l'humus et même l'acide humique préparé chimiquement avec le sucre et les acides conférait aux sols naturels ou composés artificiellement de silice, calcaire et kaolin, ensemencés ou non de végétaux, la propriété de s'enrichir en azote assimilable, que les sols nus pourvus de matières organiques, et ceux-là seulement, fixaient l'azote libre ou ammoniacal de l'atmosphère et que la matière humique était une condition nécessaire de cette fixation. » (*C. R.* T. CXXIV, juin 1897.) Il ne s'agit, dans mes expé-

Les feuilles sont réellement des organes admirables. Après avoir activement travaillé toute leur vie à élaborer les matières plastiques nécessaires à la vie actuelle et future de l'arbre, elles tombent quand les circonstances atmosphériques les empêchent de continuer à remplir leur rôle ; mais elles ne tombent qu'après avoir mis en réserve, j'allais dire en sûreté, dans l'arbre les matières rares, précieuses (azote, phosphore, potasse) qui serviront au printemps à édifier les nouvelles feuilles, aussi laborieuses que leurs devancières. A leur chute, elles ne renferment plus que le minimum possible de ces matières, le *caput mortuum,* ce qui n'a pu se dissoudre pour émigrer dans le bois des rameaux et des branches. Mais on dirait qu'elles ont hâte, même mortes, de travailler pour l'arbre qui les a produites. Dès qu'arrivent les beaux jours, elles servent de pâture à des myriades de microorganismes dont la présence et l'activité sont attestées par un fort dégagement d'acide carbonique et dont un certain nombre a la faculté d'absorber, outre l'oxygène, l'azote de l'air pour le faire entrer dans la constitution de leur protoplasma.

D'où viendrait cet excédent considérable d'azote dans les feuilles mortes après un an d'exposition à l'air ? Il n'y en a ni dans le zinc, ni dans le calcaire, ni dans le grès qui étaient en contact avec les feuilles, et ce ne sont pas les traces d'ammoniaque et d'acide nitrique contenues dans la pluie qui a mouillé ces feuilles qui ont pu doubler leur taux d'azote, le faire passer de 1.108 à 1.923 p. 100 et de 0.947 à 2.246 p. 100. Il faut donc que la plus grande partie de cet excédent provienne de l'azote élémentaire de l'atmosphère.

Les feuilles des deux autres caisses, celles de chêne sur plaque de grès bigarré et celles de charme sur plaque de calcaire, au lieu

---

riences, ni de sol, ni d'humus, mais de feuilles mortes encore adhérentes aux rameaux et qui, après deux ans d'exposition à l'air, n'étaient nullement réduites à l'état d'humus, c'est-à-dire d'une substance noire, grumeleuse, ayant perdu toute trace d'organisation végétale. Les feuilles de chêne et de charme étaient devenues noires, mais étaient encore parfaitement reconnaissables. Ce n'est donc pas seulement à l'état d'humus, combiné ou non avec le sol, que la matière organique peut fixer l'azote de l'air comme l'ont montré MM. Berthelot, Gautier et Drouin. Dès que la feuille est morte et pendant qu'elle conserve sa forme avant de se transformer en humus, elle jouit de cette précieuse faculté.

de rester un an exposées à l'air, y furent laissées deux ans, de décembre 1894 à décembre 1896.

De plus, en mai 1896, j'ai ajouté à chaque caisse 50 gr. de terre fine de la forêt de Haye, dont j'avais préalablement dosé l'eau et les matières organiques. Les dosages d'azote donnèrent des résultats absolument concordants avec les précédents : 1.73 p. 100 de feuilles sèches à 100° pour le chêne sur grès bigarré ; 2.15 p. 100 pour le charme sur calcaire, c'est-à-dire un petit peu moins (0.1 à 0.2 p. 100) que le chiffre trouvé à la fin de la première année, période de grande activité des microbes ; mais ces chiffres sont toujours très supérieurs aux taux primitifs : ils accusent un gain relatif d'azote de 0.6 p. 100 pour le chêne et de 1.1 p. 100 pour le charme.

Pendant ces deux ans, les feuilles de chêne ont perdu 29.64 p. 100 de leur poids à 100° et les feuilles de charme 28.61 p. 100.

En admettant encore, pour rendre la captation d'azote plus évidente, que les 28 à 29 p. 100 perdus ne comprissent pas de matières azotées, il y aurait eu néanmoins un enrichissement absolu de 1.22 — 1.11, soit 0.11 p. 100 du poids initial pour le chêne et de 1.53 — 0.95, soit 0.58 p. 100 pour le charme.

Si l'on trace une courbe représentant les taux d'azote dans une feuille depuis sa naissance jusqu'à sa transformation en humus, on voit qu'elle a son point d'inflexion au moment de la chute, puis qu'elle se relève par suite de la captation d'azote libre.

Voici des chiffres se rapportant aux feuilles de chêne :

	MATIÈRES azotées.
Mai	25.9 p. 100.
Juin	14.6 —
Juillet	14.0 —
Août	9.9 —
Septembre	7.0 —
Octobre	6.6[1] —
Décembre 1894	6.9 —
Décembre 1895	12.0 —
Décembre 1896	10.8 —

1. Les chiffres précédents sont empruntés à Ebermayer.

Ainsi donc, si les choses se passent dans la nature comme dans les essais dont je viens de parler, les 3 300 kilogr. de feuilles mortes annuelles reçues par un hectare contiennent, au moment de leur chute, 1 p. 100 d'azote, soit 33 kilogr. d'azote ou 206 kilogr. de matières azotées.

Un an après, ces 3 300 kilogr. se sont réduits à 2 640 kilogr. à 2 p. 100 d'azote en moyenne (1.92 pour les feuilles de chêne, 2.25 pour celles de charme), ce qui équivaut à 53 kilogr. d'azote ou 331 kilogr. de matières azotées par hectare. Le gain d'azote par hectare s'élève donc à *20 kilogr.*, correspondant à une fumure de *125 kilogr.* de matières azotées.

Au bout de deux ans, les feuilles de chêne et de charme, qui avaient subi comme en forêt toutes les influences atmosphériques et qui reposaient sur une dalle calcaire ou gréseuse presque horizontale, de façon que l'humidité s'y maintînt le plus longtemps possible, étaient complètement noires mais parfaitement reconnaissables, les feuilles de charme aussi bien que celles de chêne, malgré ce que l'on dit de leur plus grande altérabilité. Elles étaient loin d'être réduites à l'état d'humus.

Il faudrait, pour épuiser le sujet et lever tous les doutes, pouvoir isoler ceux des microorganismes phyllophages qui fixent l'azote, les élever en culture pure et démontrer directement leur faculté d'absorption par la diminution du volume déterminé d'azote dans lequel on les ferait vivre, comme l'ont fait MM. Schlœsing fils et Laurent pour les bactéries des légumineuses[1]. Mais ce sont là des points en dehors de ma compétence et qui ne peuvent être élucidés que par des bactériologistes. J'ai remis ces feuilles fixatrices d'azote à M. le professeur Macé, qui a bien voulu se charger de les étudier.

En dehors des bactéries des légumineuses, il n'y a guère à citer, parmi les microorganismes du sol dont le rôle comme fixateur d'azote ait été nettement déterminé, que le *Clostridium pasteurianum* récemment découvert par M. Vinogradsky[2]. Je ne puis mieux faire

1. *C. R.* Séance du 10 novembre 1890.

2. Ce travail en langue russe : *Absorption par des microorganismes de l'azote libre de l'air*, est analysé dans les *Annales de Micrographie*, p. 78. 1896.

que de donner l'opinion, sur le sujet qui nous occupe, d'un maître incontesté en bactériologie.

« Vinogradsky part de ce fait que l'assimilation de l'azote est un phénomène très répandu dans le sol des champs et des prairies (nous venons de voir qu'il l'est probablement aussi dans le sol des forêts), pour penser qu'il est difficile de l'attribuer seulement à quelques espèces de plantes supérieures ou aux algues et que cette assimilation doit se faire par des microbes, surtout par ceux auxquels suffit un milieu riche en carbone mais pauvre en azote. Il les a donc cherchés et les a isolés par la méthode élective des cultures.

Voici ses conclusions :

1° Sur 10 microbes extraits du sol, pas un, ni l'*Aspergillus,* n'a assimilé d'azote libre ;

2° Pas un des microbes n'a pu se développer dans un milieu totalement dépourvu d'azote et le *Clostridium pasteurianum* est unique à ce point de vue. Lui seul peut fixer l'azote en quantité suffisante pour ses besoins, depuis le commencement jusqu'à la fin de sa végétation.

L'auteur admet, contrairement à l'opinion de M. Berthelot, que la faculté de fixer l'azote libre de l'air n'est pas très répandue dans le monde des microbes et constitue une fonction spéciale d'une seule ou de quelques espèces, mais jusqu'à présent on n'en connaît avec certitude qu'une seule : c'est le *Clostridium pasteurianum.* »

M. Claudio Fermi[1] dit aussi, dans les conclusions d'un travail récent sur le même sujet :

« Parmi les microorganismes que j'ai étudiés, je n'en ai point trouvé, dans ceux que l'on peut cultiver sur solutions de saccharose pure, qui soient capables de fixer l'azote de l'air. A cet égard, mes recherches concordent avec celles de Vinogradsky. »

Quant à la prétendue fixation de l'azote libre par des algues inférieures, fixation qui devrait se manifester aussi en forêt où ces algues existent, elle ne serait pas due, paraît-il, aux algues, comme l'ont cru MM. Schlœsing fils et Laurent, mais aux colonies de bactéries qui y vivent.

---

1. *Annales de Micrographie,* p. 520. 1896.

« En cultures pures, exemptes de bactéries, dit M. Kossowitch[1], les algues ne fixent pas l'azote. Mais, à la lumière, associées aux bactéries, elles peuvent influencer directement ce phénomène de la fixation de l'azote en fournissant à ces microorganismes les substances hydrocarbonées nécessaires à leur développement. Mieux nourries, les bactéries se développeront plus vite, et, par suite, la proportion d'azote fixée par elles augmentera plus rapidement. »

M. Bouilhac[2] a aussi constaté que la fixation d'azote peut se faire par l'association de certaines algues et de bactéries.

Même certains auteurs, tels que M. Stoklasa, de Prague[3], attribuent, dans l'assimilation de l'azote gazeux par les lupins, un rôle plus actif aux algues et aux bactéries du sol qu'aux bactéroïdes des tubercules.

On voit que si le fait de l'assimilation de l'azote gazeux par la végétation est maintenant hors de conteste, son mécanisme reste encore bien obscur ; on l'entrevoit seulement et on ne connaît avec certitude que quelques-uns de ces organismes, sans doute nombreux, par l'intermédiaire desquels s'établit une des compensations aux pertes que subit incessamment la masse totale d'azote combiné du globe. L'autre cause compensatrice, la seule que l'on pût invoquer, il y a dix ans, était, on le sait, la combinaison de l'azote de l'air à l'oxygène et à l'hydrogène de la vapeur d'eau sous l'action des effluves électriques.

Il semble que les bactériologistes auraient profit à porter leurs investigations sur les feuilles mortes des forêts, à l'époque où elles sont le siège d'une décomposition active due à des microorganismes aérobies, ceux dont la technique est justement la plus avancée, et il est probable qu'ils enrichiraient de quelques noms la liste encore bien courte des microbes fixateurs d'azote.

En résumé, d'après ces premiers résultats d'essais, que je poursuis en variant le matériel et les conditions d'expérience, je crois avoir montré l'une des raisons, la plus importante peut-être et en

---

1. *In extenso* dans *Bot. Zeit.* 1894. 1re partie, p. 97-116, analysé dans les *Annales de Micrographie*, p. 227. 1896.

2. *C. R.* T. CXXIII, p. 823.

3. *Landwirthschaftliche Jahrbücher*, t. XXIV, p. 827-863. 1895.

tous cas la plus générale, pour lesquelles la forêt enrichit le sol en azote.

Si l'on comprenait cet enrichissement pour les matières minérales qui, grâce aux réactions chimiques plus prolongées et plus intenses en forêt qu'ailleurs, deviennent assimilables en plus forte proportion dans le sol forestier, il ne s'expliquait plus pour l'azote, quoiqu'il fût réel, depuis qu'on était éclairé sur les faibles quantités d'azote combiné apportées à la forêt par l'atmosphère et les eaux météoriques.

Ainsi, la forêt, la grande bienfaitrice, ne se contente pas de nous fournir, avec le bois et ses multiples dérivés, une foule de produits utiles, de protéger les pentes de nos montagnes contre les dévastations des eaux sauvages, de nous procurer de frais ombrages et de charmer nos yeux par sa verdoyante parure ; elle est encore le moyen le plus précieux que l'homme ait à sa disposition, le seul qui ne nécessite aucune dépense, pour enrichir les sols en ces deux groupes de substances si rares et si essentielles à la végétation, les matières azotées et les principes minéraux nutritifs et pour mettre, avec le temps et sans frais, les plus pauvres d'entre eux en état de fournir aux exigences des récoltes agricoles.

SUR LA POSSIBILITÉ

D'UNE

CULTURE AVANTAGEUSE

DE LA BETTERAVE A SUCRE

DANS CERTAINS TERRAINS SALANTS

D'après une étude de MM. HILGARD et LOUGHRIDGE [1]

PAR

J. VILBOUCHEVITCH

Il est généralement admis que la culture de la betterave à sucre [2] ne convient point aux terrains salants, les quelques cas y relatifs décrits en Europe ayant montré que la teneur en sucre et la pureté du jus se trouvent basses et la proportion de cendres haute. En Californie, d'où nous vient aujourd'hui l'avis contraire, la même constatation a été faite autant que les essais avaient porté sur des terrains salants du littoral : la meilleure graine n'y donnait que des racines à 5 p. 100 et 6 p. 100 de sucre, avec pureté de 20° au-dessous de la tolérance. Le résultat n'a pas été meilleur à la succursale de la

---

1. *Report of work of the Agricultural Experiment Station of the University of California for the year* 1894-1895. Sacramento, 1896, p. 71-91, avec une planche, huit tableaux, trois diagrammes et une carte pédologique.

2. Contrairement à celle de la betterave fourragère (voyez une notice que j'ai publiée là-dessus dans la *Revue des sciences naturelles appliquées*). L'espèce sauvage *Beta maritima* dont se déduit la betterave cultivée est une halophyte comme la plupart des Chénopodiacées auxquelles elle appartient.

Station agronomique de l'Université de Californie, qui a été créée il y a quelques années spécialement pour l'étude du salant continental, près Tulare, dans la vallée de San-Joaquin : partout où les racines arrivaient au contact du salant, la richesse en sucre et la pureté étaient insuffisantes.

Le salant, à Tulare, se compose, en même temps que de carbonate et de sulfate de soude, d'une respectable dose de chlorure (sel marin) ; il comporte, en plus, de la potasse, des phosphates d'alcalis et du salpêtre.

Or, il y a quelques années, une vaste entreprise de betteraves à sucre se fondait à Chino, où la Station possède également une succursale grande de 10 acres de terrain sis en contre-bas et accusant chaque été des taches d'efflorescences salines. Fort des résultats décourageants observés à Tulare, M. Hilgard s'empressa de mettre les propriétaires de la sucrerie en garde de ne pas avancer leurs cultures, sous peine d'échec, du côté de cette partie basse salante ; ce conseil fut suivi d'abord, mais la sucrerie prenant de plus en plus d'extension, bientôt on ne pensa plus au salant et les cultures empiétèrent sur les terres franchement salantes ; quel ne fut pas l'étonnement des chimistes de la Station en voyant venir, deux années de suite, des racines d'excellente qualité tout près d'endroits en été les plus chargés d'efflorescences !

Il fut résolu de consacrer le terrain adjacent appartenant à la Station agronomique à l'étude approfondie de l'affaire.

Les 10 acres furent mises en culture pour la première fois en 1894 ; à l'état naturel, le terrain laissait voir de loin en loin de petites taches de salant sans que sa couverture végétale de hautes graminées et de composées eût l'air de s'en ressentir, mais une fois dénudé, et la sécheresse de l'année aidant (en 1894 il n'était tombé que 8 pouces de pluie), il y eut une forte recrudescence des efflorescences ; il en vint en maint endroit où jamais auparavant on n'en avait vu ; « ceci eut d'ailleurs l'avantage de maintenir la surface à un degré d'humidité favorable à la germination[1] » ; les jeunes plantules, tout entou-

1. « La présence d'une quantité modérée de salant est d'une utilité directe en empêchant le desséchement du sol... L'agriculture d'une très vaste superficie de terres ne

rées qu'elles étaient de blanches efflorescences, paraissaient être tout à fait à leur aise.

La plus grande partie du champ avait été ensemencée de différentes graminées fourragères ; malgré une petite pluie tardive tombée sur le semis, parmi les semences de petite taille il n'y eut guère de levées ; seuls, le sorgho et le maïs levèrent bien, mais ne tardèrent pas à dépérir au point qu'on dut renoncer à l'espoir de récolter quelque chose. Du grand choix de papilionacées semées en même temps et presque toutes bien levées, aucune ne se développa normalement. Dans ces conditions, qui témoignent suffisamment de la salinité du terrain, la partie ensemencée fut défoncée à nouveau et, le 29 mai, ensemencée de betteraves à sucre qui y vinrent admirablement, au beau milieu des efflorescences.

Si ce terrain se comporte vis-à-vis de la betterave d'une autre façon que ne le font les terrains salants maritimes et les terrains de Tulare, c'est qu'aussi la composition du salant est différente ; c'est ici le sulfate de sodium qui prédomine, tandis que sur le littoral c'est le sel marin.

Pour donner une idée plus précise du terrain de Chino, en voici une analyse complète faite en 1890 : « De l'alluvion ancien, argileux ; gris bleuâtre ; gris souris quand il est humide ; très profond ; changeant à peine à mesure que l'on s'enfonce à 10 pieds et davantage ; demeure humide pendant l'été ; rentre dans la catégorie appelée par les gens du pays « adobe[1] » ; se laisse labourer aisément lorsque encore assez humide ; par les années pluvieuses devient facilement marécageux, comme c'est le propre des sols couverts à l'état naturel, comme l'était celui-ci, de *Anemopsis Californica* (*yerba mansa*).

Matériaux d'un diamètre supérieur à 0,6 millimètre.	10.00 p. 100.
Terre fine	90.00 —

pourrait pas du tout exister dans sa forme actuelle sans le concours de l'humidité hygroscopique absorbée dans une proportion notable grâce à la présence du salant » (Hilgard, dans les *Annales de la science agronomique française et étrangère*, 1893-p. 70 du tirage à part) ; M. Hilgard revient souvent sur ce sujet dans ses publications postérieures.

1. Pour autres détails sur l' « adobe », voyez l'ouvrage précité de M. Hilgard, p. 22 du tirage à part.

Analyse chimique de la terre fine.

Matières insolubles	62.62	70.92 p. 100.
Silice soluble dans une dissolution bouillante de carbonate de soude	8.30	
Potasse (K^2O)		0.95 —
Soude (Na^2O)		0.50 —
Chaux (CaO)		5.07 —
Magnésie (MgO)		0.84 —
Oxyde salin de maganèse (Mn^3O^4)		0.06 —
Oxyde de fer (Fe^2O^3)		6.43 —
Alumine (Al^2O^3)		4.88 —
Acide phosphorique (P^2O^5)		0.21 —
Acide sulfurique (SO^3)		0.06 —
Acide carbonique (CO^2)		3.76 —
Eau et matières organiques		6.02 —
Total		99.70 —

Humus	1.99 p. 100.
Richesse de l'humus en azote	10.20 —
Richesse du sol en azote	0.203 —
Cendres	1.13 —
Acide phosphorique soluble	0.03 —
Silice	0.96 —
Humidité hygroscopique (absorbée à 15° C)	5.81 —

Analyse mécanique de la terre fine.

Argile colloïdale		13.44 p. 100.
Limon	< 0mm,25 de valeur hydraulique	20.65 —
	0mm,25 — —	1.37 —
	0mm,50 — —	4.91 —
	1mm,00 — —	5.95 —
	2mm,00 — —	13.46 —
Sable	4mm,00 — —	10.36 —
	8mm,00 — —	9.25 —
	16mm,00 — —	12.01 —
	32mm,00 — —	2.75 —
	64mm,00 — —	1.66 —
Capacité hydraulique		60.20

Le salant. — L'analyse par délavage d'échantillons prélevés en octobre 1894 et comprenant l'épaisseur des premiers 12 pouces, montra une teneur en salant total variant de 0.032 p. 100 à 0.322

p. 100 du sol desséché à l'air (dans les livres classiques on trouve indiqué 0.250 p. 100 comme limite de la résistance des cultures dans les terrains *salés*), donc la salinité totale variait du simple au décuple ; la *composition* du salant variait encore davantage.

Comme l'on tenait à avoir des données précises, on se décida à diviser les 10 acres en 169 carrés de 50 pieds chaque et à rechercher séparément, pour le centre de chaque carré, la richesse totale en salant et la richesse de celui-ci en sulfates, carbonates, chlorures et nitrates (surtout — du nitrate de magnésium), en échantillonnant l'épaisseur de 1 pied (= 12 pouces). Au moment de la publication du compte rendu, il y avait déjà 65 analyses effectuées.

Sans reproduire le tableau dans lequel les résultats sont consignés, disons que, dans certains carrés (1, 8, 50, 60), le sol a été trouvé chargé de carbonate de soude à raison de plus de 2 000 livres à l'acre-pied[1], tandis que dans d'autres il n'y en a que des traces ; que presque sur toute l'étendue du champ d'expérience il a été constaté une proportion de nitrates inusitée, dans quelques carrés s'élevant jusqu'à 50 p. 100 de la somme des sels solubles.

Ainsi, dans le carré n° 9, il a été trouvé tant de nitrates qu'en salpêtre cela aurait fait près de 2 tonnes à l'acre pour 1 pied d'épaisseur, et 5 500 livres anglaises pour 3 pieds ; c'est à peu près le trentuple de la fumure la plus forte de salpêtre de Chili, jamais pratiquée en agriculture. Ce carré a donné des racines caractérisées par les défauts que l'on connaît aux betteraves démesurément fumées de salpêtre ; le mémoire de MM. Hilgard et Loughridge donne la photographie d'une de ces racines, pesant 2,5 livres, avec 10 p. 100 de sucre dans le jus et pureté égale à 67, tandis que la moyenne pour le reste du champ d'expérience était de 0,86 livre (400 gr.) et la richesse de l'ensemble de la récolte du champ d'expérience, vendue à la sucrerie, de 15.5 p. 100, avec pureté entre 85 et 90[2].

---

1. Le poids d'une couche de sol, grande de 1 acre et épaisse de 1 pied, étant estimé à 4 000 000 livres anglaises.

2. A propos de ce carré n° 9, un détail qui rappelle combien il faut de circonspection lorsqu'il s'agit de juger un terrain salant : L'analyse de l'échantillon pris en octobre 1894 avait accusé, comme on vient de le dire, une teneur en nitrates qui re-

Résultats. — Les betteraves expérimentées appartenaient aux variétés : « Vilmorin améliorée », « Vilmorin », « Mammouth rouge », « Géante dorée », « Blanche française », « C. R. », « L. R. », « Norton's Giant », « O. D. ». Le mémoire donne un grand nombre de chiffres sur les qualités des racines obtenues, selon l'emplacement, la variété, l'époque de la mise en terre et de la récolte. Nous n'en retiendrons d'abord que cette conclusion générale :

« C'est la « Vilmorin améliorée » et la « Vilmorin » qui ont donné la richesse en sucre la plus élevée ; le maximum revient à une racine appartenant à la première variété et est égal à 16.2 p. 100. Vient ensuite la « C. R. », avec 15.8 p. 100.

Les deux premières ont été récoltées sur le carré n° 1 qui contient très peu de nitrates, mais d'autre part beaucoup de carbonate de soude[1]. Toutes les autres variétés sont restées au-dessous de 15 p. 100[2].

La pureté a été maximale dans des « Vilmorin améliorées » (89) et des « L. R. » (85 et au-dessus) ; pour le reste des variétés, le degré demeura au-dessous de 85 p. 100 ; 24 échantillons, sur environ une centaine, restèrent au-dessous de 80 p. 100. »

Les tableaux qui suivent permettront de juger plus en détail l'effet produit sur les betteraves par les différents sels. Il y en a un pour chaque variété, celles-la seulement des variétés étant d'ailleurs prises en considération qui ont été cultivées sur plus de deux carrés. Dans chaque tableau, en regard des données sur les résultats de la culture,

---

viendrait, pour 3 pieds, à plus de 5 000 livres à l'acre ; or, un échantillonnage du même endroit fait en avril 1895, après que les pluies d'hiver y eurent passé, n'en révéla plus que 140 livres à l'acre pour la même épaisseur.

1. Pour éviter une confusion dans la suite, je rappelle qu'il ne s'agit ici que des meilleures racines du carré n° 1 ; ainsi cette même « Vilmorin améliorée » y a donné aussi des racines dont le jus ne contenait que 10.5 p. 100 de sucre.

2. Un détail qui est peut-être pour quelque chose dans la supériorité de la « Vilmorin améliorée » : Les betteraves des différentes variétés furent plantées toutes sur la partie est d'un petit nombre de carrés situés sur l'extrême bord est du champ, la « Vilmorin » occupant la rangée la plus externe (la plus à l'est), tandis que la « Vilmorin améliorée » occupait la rangée la plus à l'ouest, contiguë à quelques rangées de blé, d'orge et d'autres graminées dont l'ombrage lui profitait en réfrénant la croissance des racines, ce qui ne peut ne pas avoir contribué à en rehausser la richesse en sucre.

on en trouvera d'autres sur la salinité totale et la composition du salant pour les différents carrés auxquels ces résultats se rapportent. Il n'y a que cette façon de comparer qui puisse être instructive, la variété demeurant toujours un facteur impossible à compenser.

Je rappelle que les analyses de salant qui entrent dans ces tableaux concernent une épaisseur de 1 pied et se rapportent au centre de chaque carré, l'échantillonnage ayant été fait en octobre 1894. Les analyses de betteraves sont dues au chimiste de la sucrerie de Chino.

NUMÉRO du CARRÉ.	POIDS en onces.	SUCRE.	PURETÉ.	TOTAL des sels solubles.	SULFATE.	CARBONATE.	CHLORURE.	NITRATE.
Variété « Vilmorin améliorée ».								
53.	8.0	14.5	83	.271	.179	.052	.038	.004
52.	6.7	13.8	83	.093	.014	.053	.012	.014
1.	14.2	13.7	84	.113	.033	.076	.002	.002
27.	11.7	12.8	82	.157	.093	.042	.015	.007
26.	11.1	12.5	83	.107	.059	.032	.009	.007
Variété « Vilmorin ».								
1.	24 5	12.8	77	.113	.033	.076	.002	.002
52.	19.7	12.1	80	.093	.014	.053	.012	.014
53.	19.0	11.5	77	.271	.179	.052	.038	.004
26.	30.1	11.1	78	.107	.059	.032	.009	.007
27.	30.0	11.1	79	.157	.093	.042	.015	.007
Variété « L. R. ».								
52.	9.7	13.8	84	.093	.014	.053	.012	.014
53.	12.5	13.5	83	.271	.179	.052	.038	.004
27.	15.7	13.5	85	.157	.093	.042	.015	.007
26.	16.2	12.1	83	.107	.059	.032	.009	.007
1.	15.6	10.0	79	.113	.033	.078	.002	.002
Variété « C. R. ».								
53.	15.3	12.0	82	.271	.179	.052	.038	.004
52.	16.7	11.8	80	.093	.014	.053	.012	.014
27.	19.5	11.6	78	.157	.093	.042	.015	.007
1.	17.9	11.5	78	.113	.033	.076	.002	.002
78.	12.5	10.9	78	.140	.096	.016	.012	.016
26.	18.9	10.8	78	.107	.059	.032	.009	.007

Je continue en traduisant intégralement les commentaires dont les auteurs font suivre ces tableaux :

1. La moyenne de la « Vilmorin améliorée » pour les cinq carrés a été bonne autant pour la richesse que pour la pureté. La moyenne pour la richesse a été la plus élevée, toujours pour cette variété, sur le carré 53, qui est le plus chargé de salant (0.271 p. 100, ce qui équivaut à 5 tonnes à l'acre-pied) et offre, en même temps, le plus de sulfate et le plus de sel marin ; elle a été la plus basse pour le carré 26, qui cependant offre le moins de carbonate de soude.

Cependant, comme il a été mentionné plus haut, une racine, la plus riche pour cette variété et en même temps la plus riche de tout le champ — 16.2 p. 100 de sucre, — provenait du carré n° 1 dont la teneur est à la fois très basse pour le nitrate et pour le chlorure, et dont la salinité totale ne dépasse que de peu 2 tonnes à l'acre-pied.

Les racines étaient relativement menues — 3/4 de livre en moyenne sur les carrés 53 et 52, qui ont donné les moyennes de sucre les plus élevées ; il a été indiqué plus haut que le voisinage des rangées de graminées doit y avoir été pour quelque chose.

2. La « Vilmorin » qui, dans les mêmes carrés, occupait la rangée la plus externe (et, par conséquent, la moins ombragée), était beaucoup plus grosse et beaucoup moins riche que la « Vilmorin améliorée ». Sur le carré n° 1 qui a donné, pour cette variété, la moyenne de sucre la plus élevée, le poids moyen était de 2 livres.

Pour cette variété, le sol le plus chargé de salant (le carré 53 accusant près de 5 tonnes de sels solubles à l'acre-pied) a donné des racines fort pauvres en sucre ; le sol le plus pauvre en chlorures (le carré n° 1), les plus riches en sucre ; le sol le plus riche en chlorures (le carré n° 53), des racines pauvres en sucre. Impossible de dire pour le moment si ces résultats, contraires à ceux observés pour la « Vilmorin améliorée », doivent être attribués à la grande dimension atteinte par les racines de la « Vilmorin », ou réellement à une façon différente de se comporter vis-à-vis du salant qui tiendrait à la variété (ou à autre chose).

3. La « L. R. » avait en moyenne des dimensions bonnes ; excepté le carré n° 1, elle a donné une bonne richesse et une bonne pureté. Cette variété a donné les racines les meilleures sur le carré n° 52, le

moins chargé de salant au total quoique le plus riche en nitrates et presque le plus riche en carbonate de soude. A remarquer que le carré 53, le plus chargé de salant au total et aussi de chlorures, a donné dans ce cas des racines à peu près aussi bonnes que le 52, le moins salé.

4. La « C. R. » est demeurée, à l'exception du seul carré 53, au-dessous de 12 p. 100 comme moyenne de sucre pour chaque carré, et sur tous les six carrés où on en avait mis, le poids moyen de ses racines a été supérieur à une livre. Sa pureté également a été basse.

La meilleure moyenne que cette variété ait fournie provient du carré 53, qui a le plus de sels solubles au total, le plus de chlorure et le plus de sulfate ; en ceci concordance avec le résultat donné par la « Vilmorin améliorée ».

Voici encore quelques données recueillies moins méthodiquement, un peu au hasard du travail courant de la Station ; dans le tableau ci-dessous, il a été impossible de retrouver quelle est la variété qui a été plantée, mais il est probable que cela a été la même pour les quatre parcelles compulsées dans le tableau (carrés nos 158, 21 et 8 et une parcelle de Rincon-Ranch, propriété située à 7 ou 8 milles de Chino et remarquable, d'après le dire du chimiste de la sucrerie de Chino, par la qualité exceptionnelle des betteraves qu'elle fournit — 19 à 21 p. 100 de sucre comme moyenne de plusieurs charges de voiture). Les dosages du salant se rapportent, comme dans les autres tableaux, à la couche supérieure d'un pied d'épaisseur. Sols et racines ont été analysés par M. E. Jaffa, du laboratoire de Berkeley.

DÉSIGNATION des parcelles.	BETTERAVES.			SELS (pour 100 du sol).				
	Poids en onces	Sucre.	Pureté.	Total des sels solubles.	Sulfate.	Carbonate.	Chlorure.	Nitrate.
Carré n° 158 .	17.4	16.3	93	.186	.069	.053	.033	.031
Carré n° 24 . .	20.2	15.9	92	.200	.136	.037	.004	.023
Carré n° 8 . .	38.9	10.1	67	.233	.059	.084	.082	.008
Sol de Rincon-Ranch . . .	»	19 à 21	»	.043	.018	.011	»	.014

Il est évident que les betteraves n'ont pas été sérieusement endommagées par le haut dosage total du salant ni dans le carré n° 24, où il y en a 4 tonnes à l'acre-pied, ni dans le carré n° 158, où le salant s'élève à 3 1/2 tonnes à l'acre-pied. D'ailleurs, déjà par les tableaux précédents, nous avons vu que la « Vilmorin améliorée » et la « L. R. » avaient parfaitement réussi dans le carré n° 53, malgré ses 5 tonnes de sels solubles à l'acre-pied.

Toutefois, le carré n° 8, qui a beaucoup moins de salant total que n'en a le carré n° 53, a donné des racines volumineuses et pauvres en sucre ; il faut en conclure que dans ce cas la faute doit en être à la *composition* du salant ; voyons ce qu'il en est :

Les sulfates sont dans le carré n° 8 à un dosage inférieur de beaucoup à celui qu'ils accusent dans différents autres carrés ayant produit d'excellentes racines. Le nitrate de magnésium également est dans le carré n° 8 à un dosage inférieur à celui d'autres carrés à racines riches en sucre. Mais voici un point remarquable : le carbonate et le chlorure de sodium y sont chacun à un dosage beaucoup plus élevé que dans n'importe lequel de ceux des carrés où la betterave à sucre a bien réussi. Peut-être avons-nous par ce cas-là l'indication de la limite de teneur en carbonate et en chlorure compatible avec une culture avantageuse de la betterave à sucre, laquelle limite serait par conséquent à 3200 livres à l'acre-pied pour chacun de ces deux sels ; cependant, il vaut mieux réserver pour l'avenir des appréciations aussi subtiles.

L'extrême richesse en sucre des betteraves récoltées au Rincon-Ranch, sol argileux rougeâtre accusant à l'acre-pied environ 1 700 livres de salant total, ne peut être mise que sur le compte de l'absence presque complète de sel marin, puisque, pour le reste, il n'y a pas de différence essentielle entre ce sol-là et les sols du champ d'expérience de Chino.

En résumé, mettant à part les détails qui ont besoin de plus amples investigations, il appert de tout ce qui précède que des betteraves à sucre de bonne et même de haute qualité — tant pour le sucre que pour la pureté — peuvent parfaitement être récoltées sur des sols contenant jusqu'à 12 000 livres de sels solubles à l'acre pour une épaisseur de 3 pieds, pourvu que le pour-cent du sel marin ne

dépasse pas 0.4 ou 1500 livres à l'acre-pied. Ceci n'est peut-être même pas la limite extrême ; ce n'est que le maximum qui a été rencontré dans les expériences exposées dans cet article.

Pour ce qui est du carbonate, la limite de la tolérance de la betterave à sucre pour ce sel n'est guère de première importance à connaître, puisqu'on a toujours le moyen de convertir le carbonate en sulfate par le plâtrage. Toutefois, autant que l'on peut en juger par les expériences de Chino, cette limite serait à proximité de 0.076 p. 100 dans le premier pied, à la fin de la saison sèche, ce qui équivaut à 3000 livres à l'acre-pied et correspondrait probablement à environ 4000 livres dans les trois ou quatre pieds[1]. A en juger par les faits observés à Chino, la *qualité* des betteraves à sucre ne souffrirait pas plus des carbonates qu'elle ne souffre des sulfates ; il n'y aurait sous ce rapport aucun rapprochement avec l'effet si nocif des chlorures.

Le maximum de sulfates trouvé dans un point ayant produit de bonnes racines a été de 0.179 p. 100 = 7 200 livres dans le premier pied ; vu les conditions de saison au moment de l'échantillonnage, ceci correspondrait probablement à 9 000 livres pour les trois pieds.

Il a été dit plus haut qu'à la Station de Tulare on n'arrive pas à élever des betteraves bonnes pour la sucrerie ; c'est qu'aussi, à Tulare, la salinité totale est en moyenne beaucoup plus élevée et que, en même temps — point essentiel, — le sel marin y constitue pour la plupart près du tiers de la somme des sels solubles. Les sols de Chino sont ainsi beaucoup meilleurs que ceux de Tulare ; s'ils ne le paraissaient pas, c'est que, étant lourds, ils accusent, une fois mis en culture, des efflorescences cristallines hors de proportion avec le degré en réalité fort bas de leur salinité ; ailleurs, des sols légers, sablonneux, pourraient se trouver en réalité chargés de salant au delà de la limite de tolérance, quoique n'accusant que des efflorescences toutes superficielles et insignifiantes. (Néanmoins, il est probable que les limites réelles même dépendent quelque peu de la texture du sol.)

---

1. Voyez la distribution verticale et les oscillations du salant passant d'une couche dans l'autre selon les dépôts atmosphériques, la saison, etc., dans les *Annales de la science agronomique française et étrangère* pour 1893 et la suite de ces études dans le présent volume.

A Tulare, il n'a pas été trouvé de terrain salant qui eût moins de 12000 à 15000 livres de salant à l'acre dans les quatre pieds; or, autant que le montrent les analyses jusqu'ici faites, la moyenne arithmétique pour le champ d'expérience de Chino devrait être aux alentours de 5500 livres dans le premier pied à la fin de la saison sèche, ce qui devrait correspondre à pas plus de 7500 pour les trois pieds.

Un enseignement d'un ordre plus général se dégage de cette dernière comparaison, à savoir: l'importance de s'assurer du total de sels solubles présents dans la couche de trois à quatre pieds qui alimente la surface en salant; on pourrait le faire le jour où le terrain serait soumis à l'irrigation; cette façon de procéder étant d'autant plus obligatoire que la texture du sol peut parfaitement influencer le phénomène des efflorescences au point de donner à des sols parfaitement aptes à être avantageusement cultivés un aspect que généralement n'offrent que les terrains absolument stériles.

ÉCHANTILLONNAGE

DE

TERRAINS SALANTS

Façon de présenter les résultats de l'analyse

SUITE DES ÉTUDES SUR LES TERRAINS SALANTS DE LA CALIFORNIE

Par MM. E. W. HILGARD et R. H. LOUGHRIDGE

Résumée par J. VILBOUCHEVITCH

D'après le « Report » de la Station pour l'exercice 1894-1895, daté de 1896, p. 37-71.

Le dernier rapport annuel de la Station de Berkeley propose une solution, du moins partielle, de ce problème dont les multiples difficultés ont été exposées en détail dans la division E du 6e chapitre d'un travail paru dans les *Annales de la science agronomique française et étrangère,* année 1893, sous le titre : *De l'Influence du climat sur la formation et la composition des sols, suivi d'un chapitre sur les terrains alcalins*[1], et représentant la traduction annotée d'un livre de M. Hilgard publié la même année. Il est d'un intérêt pratique de porter les nouveaux procédés de M. Hilgard à la connaissance des chimistes français, l'Algérie possédant, sans aucun doute, des terrains en tous points identiques à ceux dont ont eu à s'occuper M. le

1. Avec une bibliographie assez détaillée des différentes questions se rapportant aux terrains salants.

professeur Hilgard et ses collaborateurs; peut-être même y a-t-il des terrains tout pareils aussi dans le midi de la France ; M. Lagatu, à Montpellier, et M. Gastine, à Marseille, ont fait, à ma connaissance, à ce sujet des comparaisons en se servant d'un procédé d'études analogue à celui de M. Hilgard ; ils devraient aujourd'hui être en état de confirmer la supposition que je viens de rappeler ou de la récuser, ce qui m'étonnerait bien.

Quoi qu'il en soit à cet égard, le résultat auquel M. Hilgard est arrivé pour les cas qu'il a examinés, lui, selon sa propre appréciation, que je cite d'après une lettre datée de juin 1896, se résume dans la conclusion que voici : *En prélevant, pour échantillon, une colonne de terre d'une certaine hauteur pratiquement réalisable et en établissant la quantité de salant contenue dans l'ensemble de l'épaisseur envisagée, l'on connaît, dans la règle, la presque totalité du salant capable de monter un jour à la surface; l'épaisseur à considérer pouvant varier d'un pays à l'autre, ce n'est pas en tant pour cent, mais plutôt en tant et tant de kilogrammes à l'hectare ou de livres à l'acre qu'il faut exprimer la salinité des terrains pour pouvoir les comparer entre eux et pour pouvoir en apprécier, sur les données de l'analyse chimique, la valeur agricole.*

Dans le cas des champs d'expériences de Tulare et de Chino dont s'est occupée plus particulièrement la Station de Berkeley, c'est jusqu'à 4 pieds anglais de profondeur qu'il a fallu descendre pour épuiser la provision de salant susceptible de réagir sur la couche arable ; dans d'autres régions, l'épaisseur des couches du sol et du sous-sol alimentant la couche arable en sels pourrait se trouver être supérieure ou inférieure à ce qu'elle est à Tulare et à Chino ; cela ne devrait guère, il nous semble, rendre la comparaison illusoire ; en effet, du moment que l'on sait que la couche arable de telle parcelle de terrain est alimentée par un stock de chlorures à raison de 20 000 kilogr. à l'hectare et celle de telle autre par un stock de chlorures à raison de 40 000 kilogr. à l'hectare, ne peut-il pas nous être à peu près indifférent de savoir que, dans le premier cas, il s'agit d'une couche de 4 pieds d'épaisseur, et dans le second cas, d'une couche de 4 pieds et demi ou de 3 pieds? Bien entendu, à condition que le premier chiffre aussi bien que le second épuisent les chances

pratiques d'endommagement des cultures par le salant et n'aillent pas au delà des limites réelles des phénomènes observés dans la conjoncture la plus extrême de circonstances aggravantes du côté de l'état atmosphérique, de l'irrigation, du genre d'exploitation agricole, etc., etc.

L'essentiel est donc de reconnaître l'épaisseur de cette couche, dont le salant influence le sol arable ; dans les terrains salants continentaux, tels que les « alkali soils » de la Californie, dont la salinité n'est que le résultat de l'accumulation sur place, multiséculaire, des produits d'effleurissement du sol même, cette épaisseur se trouve forcément en rapport avec la profondeur maxima de pénétration des pluies.

Ainsi, dans le comté de Tulare et dans la partie septentrionale du comté de Kern, les pluies hivernales ne mouillent le sol que rarement à plus de 3 pieds anglais de profondeur ; à la fin de la saison pluvieuse, le gros du stock de salant circulant dans le sol se trouve ramené à cet horizon, la couche arable en étant à peu près débarrassée ; pendant la saison sèche, le salant remonte dans la couche arable avec d'autant plus d'intensité que la surface du sol évapore plus d'eau ; dans des conditions particulièrement défavorables, on finit par avoir le gros du stock de salant à proximité même de la surface et le minimum là même où précédemment était le maximum, c'est-à-dire à ce niveau de 3 pieds au-dessous de la surface qui logeait la presque totalité du salant avant que le jeu de la capillarité et de l'évaporation superficielle eût renversé l'ordre des choses.

Dans le cas du « salant noir », « black alkali » des Américains, c'est-à-dire de salant plus ou moins chargé de carbonates alcalins, à cet horizon limite le sous-sol présente un caractère physique très particulier qui permet de le reconnaître à première vue ; le chimiste se trouve ainsi, du coup, renseigné sur la profondeur jusqu'à laquelle il faut qu'il prenne son échantillon : l'on se trouve, en effet, en présence d'une espèce de planche de tuf cimenté par du calcaire et du carbonate de soude, dure, résistante, totalement imperméable, à peine perforable au moyen de la sonde ; c'est ce que les gens du pays appellent le « hardpan ». (Pour les détails, voyez le travail de 1893, cité plus haut.)

Dans le courant des dernières années, M. Hilgard a fait faire de nombreuses analyses de quelques-uns des terrains salants des Stations de Tulare et de Chino, dans le but d'approfondir ces phénomènes d'oscillation verticale du salant et aussi les variations de sa constitution centésimale au même endroit, d'une époque à l'autre. Nous allons, dans ce qui suit, présenter une partie des renseignements fort variés que contient le compte rendu de ces expériences et reproduire quelques-uns des tableaux y joints et ceux des diagrammes (profils) qui nous ont paru les plus démonstratifs ; cela suffira pour donner un exemple du plan de recherche poursuivi, de la façon adoptée pour présenter les résultats et de la manière de les interpréter.

Et d'abord, un petit nombre de remarques introductrices :

Les endroits choisis furent échantillonnés chacun à plusieurs époques différentes de l'année ; les échantillons, dans chaque cas, prélevés par séries de 16 pour chaque forage de 4 pieds de profondeur ; l'analyse faite à part pour chacune des 16 couches successives de 3 pouces qu'il faut pour constituer une colonne verticale de 4 pieds.

Les résultats sont donnés, pour la plupart, à la fois en tableaux ordinaires (1° en tant pour 100 du sol ; 2° en tant pour 100 de la somme des sels solubles constituant « le salant » ; 3° en livres à l'acre) et en diagrammes ou « profils » qui permettent d'embrasser d'un coup d'œil une foule de détails et facilitent énormément l'intelligence du cas soumis à l'examen ; il serait à souhaiter que dorénavant tous les comptes rendus d'analyse de terrains salants soient accompagnés de pareilles représentations graphiques. Les diagrammes de MM. Hilgard et Loughridge comportent les chiffres obtenus pour : le chlorure de sodium ; le carbonate de sodium ; la somme de sels solubles, autrement dit « le salant » considéré comme un tout réuni.

Le nitrate de sodium n'est porté sur le diagramme que lorsqu'il se présente en quantités de quelque importance ; l'acide phosphorique soluble, qui ne manque jamais dans le « salant noir », n'est pas porté du tout ; les différents sels de potassium qui, dans la règle, constituent de 3 à 7 p. 100 de la totalité du « salant », sont additionnés au sulfate de sodium et la somme est représentée par la courbe intitulée : « sulfates d'alcalis ».

L'échelle verticale (l'ordonnée) est divisée en portions figurant chacune 3 pouces anglais; dans l'échelle horizontale (abscisse), chaque division correspond à 0.02 p. 100 du poids du sol.

La traduction en livres à l'acre a été faite en calculant sur la base de 4 000 000 de livres l'« acre-foot », c'est-à-dire en estimant à 4 000 000 de livres le poids d'une couche de sol grande d'une acre et épaisse d'un pied ; à 16 000 000 de livres celui d'une couche pareille, mais épaisse de 4 pieds ; ces chiffres ont été déduits par MM. Hilgard et Loughridge de pesées de l'« alkali hardpan » dont il a été question plus haut et qui, en moyenne, pèse 4 500 000 livres l'acre-foot à l'état naturel (compact) et 3 500 000 à 3 600 000 lorsqu'il a été artificiellement réduit en poudre et qu'il foisonne.

Traduction des inscriptions anglaises des diagrammes.

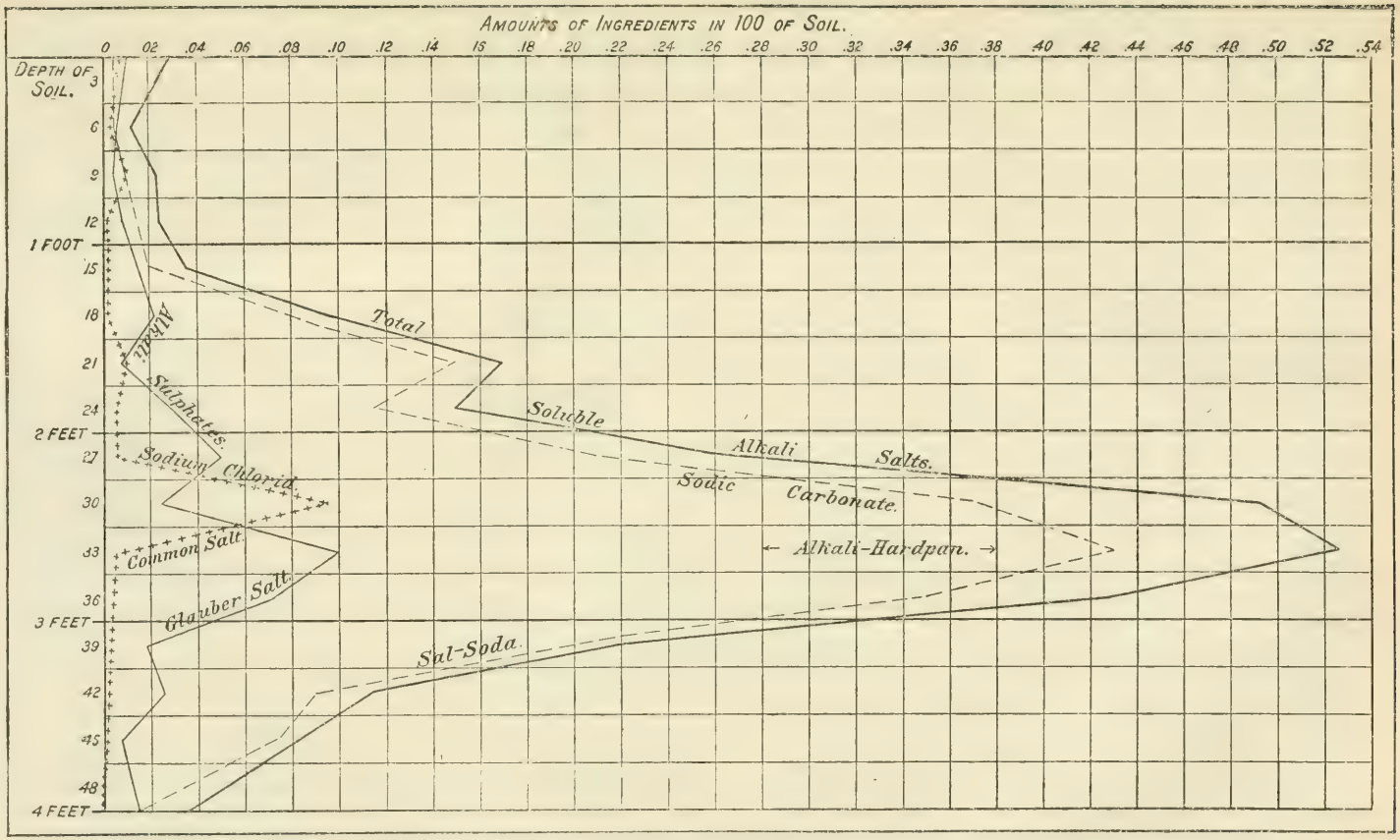
Amounts of ingredients in 100 of soil. .	Dosages des ingrédients en p. 100 du sol.
Depth of soil column	Profondeur de la colonne de terre.
First, second, third, fourth foot	Premier, second, troisième, quatrième pied.
Total soluble alkali salts	« Salant, » au total.
Sal-soda ou Sodic carbonate.	Carbonate de soude.
Glauber salt ou Alkali sulphates	Sulfates d'alcalis (sel de Glauber).
Common salt ou Sodium chlorid	Chlorure de sodium.
Alkali hardpan	A été expliqué dans le texte.
Amounts continued	Suite du diagramme.

Rapport des mesures américaines avec les mesures métriques.

1 pied.	=	$0^{m},3048$
1 pouce	=	$0^{m},0254$
1 livre.	=	$0^{kg},4536$
1 acre.	=	$0^{ha},4047$
1 tonne	=	1,016 kilogr.
Livres à l'acre-pied[1]	=	1,233 mètres cubes.

1. L'acre-pied est le volume de terre correspondant à la surface de $40^{a},47$ multipliés par la hauteur du pied $0^{m},3048$.

Diagramme n° 1.



Dosages globaux et composition du salant aux différentes profondeurs dans un terrain salant de la Station de Tulare, non irrigué.
Mars et mai 1895.

Série n° 1, correspondant au diagramme n° 1. — La couche de 0 au 12e pouce inclusivement a été prélevée en mars, la végétation étant verte et fraîche ; le reste en mai, la végétation étant desséchée et en partie disparue. La couche comprise entre les traits 9 et 12 ayant été échantillonnée aux deux époques, nous attirons l'attention du lecteur sur la comparaison tout à fait instructive des deux séries de chiffres se rapportant à cette couche.

HORIZON des ÉCHANTILLONS.	POUR 100 DU SOL.					COMPOSITION CENTÉSIMALE DU SALANT.				LIVRES A L'ACRE.				
	Total des sels d'alcalis solubles.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.
Du 0 au 3e pouce inclusivement	.022	.010	.005	.006	.001	45.5	22.7	27.2	4.6	220	100	50	60	10
Du 3e au 6e —	.013	.006	.004	.002	.001	46.1	30.7	15.4	7.8	130	60	40	20	10
Du 6e au 9e —	.022	.005	.008	.009	»	22.7	31.8	45.5	»	220	50	80	90	»
Du 9e au 12e —	.024	.016	.006	.002	»	66.7	25.0	8.3	»	240	160	60	20	»
Du 9e au 12e — *	.024	.009	.014	»	.001	37.5	58.3	»	4.2	240	90	150	»	»
Moyenne pour le 1er pied	*.020*	*.009*	*.006*	*.005*	»	*45.3*	*27.5*	*24.1*	*3.1*	*810*	*370*	*230*	*190*	*20*
Du 12e au 15e pouce inclusivement	.035	.016	.017	.002	»	45.7	48.6	5.7	»	350	160	170	20	»
Du 15e au 18e —	.095	.021	.074	»	»	22.1	77.9	»	»	950	210	740	»	»
Du 18e au 21e —	.169	.009	.148	.012	»	5.3	87.5	7.2	»	1,690	90	1,480	120	»
Du 21e au 24e —	.147	.027	.115	.005	»	18.3	78.2	3.5	»	1,470	270	1,150	50	»
Moyenne pour le 2e pied	*.112*	*.018*	*.089*	*.005*	»	*22.9*	*73.0*	*4.1*	»	*4,460*	*730*	*4,140*	*190*	»
Alkali Hardpan. Du 24e au 27e pouce inclusivement	.262	.050	.206	.006	»	19.1	78.6	2.3	»	2,620	500	2,060	60	»
Alkali Hardpan. Du 27e au 30e —	.491	.025	.373	.093	»	5.2	75.9	18.9	»	4,910	250	3,730	930	»
Alkali Hardpan. Du 30e au 33e —	.529	.100	.424	.005	»	18.9	80.1	1.0	»	5,290	1,000	4,240	50	»
Alkali Hardpan. Du 33e au 36e —	.426	.070	.356	Trace.	»	16.9	83.1	»	»	4,260	700	3,560	»	»
Moyenne pour le 3e pied	*.427*	*.061*	*.340*	*.026*	»	*15.0*	*79.5*	*5.5*	»	*17,080*	*2,450*	*13,590*	*1,040*	»
Du 36e au 39e pouce inclusivement	.221	.018	.204	.002	»	8.0	91.0	1.0	»	2,210	180	2,040	20	»
Du 39e au 42e —	.114	.026	.088	»	»	22.9	77.1	»	»	1,140	260	880	»	»
Du 42e au 45e —	.081	.005	.076	»	»	6.2	93.8	»	»	810	50	760	»	»
Du 45e au 48e —	.049	.013	.036	»	»	26.5	73.5	»	»	490	130	360	»	»
Moyenne pour le 4e pied	*.117*	*.016*	*.101*	»	»	*15.9*	*83.9*	*.2*	»	*4,680*	*620*	*4,040*	*20*	»
Moyenne pour les quatre pieds	*.169*	*.026*	*.134*	*.009*	Trace.	*15.4*	*78.7*	*5.9*	»	*27,030*	*4,170*	*22,000*	*1,420*	*20*

* Ces échantillons et tout ce qui suit ont été pris en mai.

Échantillonnage par couches de 12 pouces fait en mars.

1er pied	.021	.009	.006	.005	.001	45.2	27.5	24.2	3.1	810	360	210	200	40
2e pied	.108	019	.084	.004	.001	17.6	77.8	3.7	0.9	4,320	760	3,360	160	40
3e pied	.240	.038	.193	.009	»	15.8	80.4	3.8	»	9,600	1,420	7,720	360	»
4e pied	.117	»	»	»	»	»	»	»	»	4,680	620	4,040	20	»

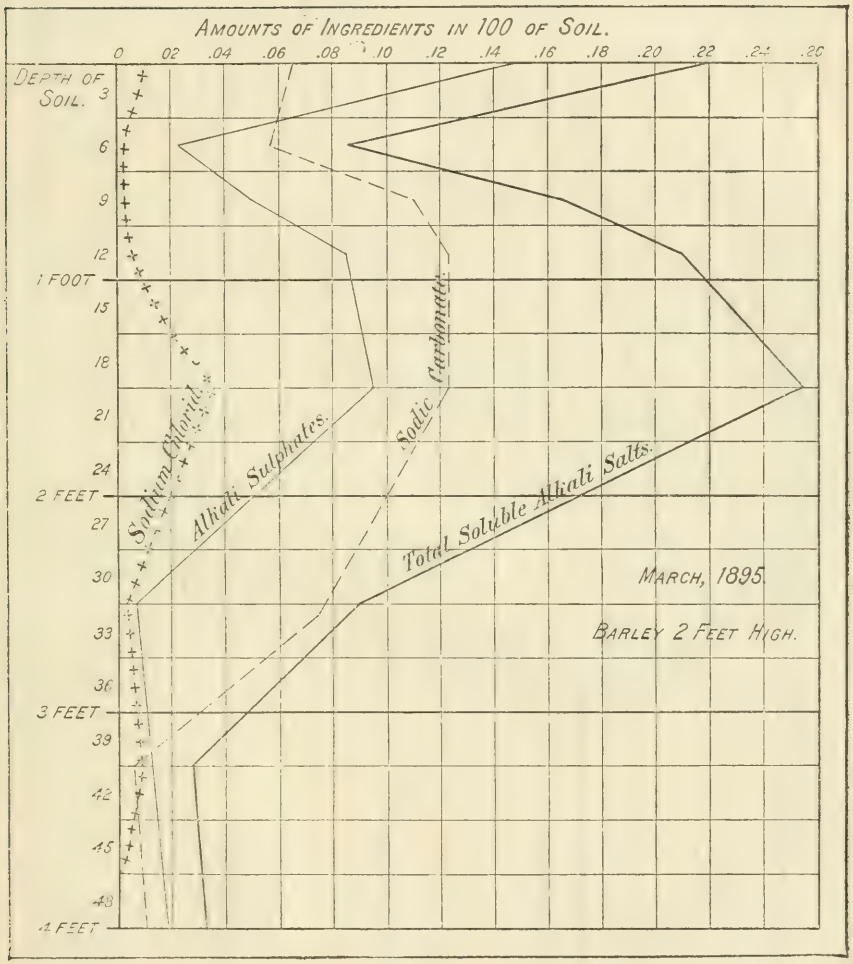
Série n° 1 *a*. — Terrain salant non irrigué; le même que celui de la série n° 1 et du diagramme n° 1, mais échantillonné le 30 août 1895; le forage a été fait à une dizaine de pieds de celui qui, fait en mai 1895, a contribué à l'établissement du diagramme n° 1. — Un diagramme que l'on dresserait avec les données du présent tableau 1 *a* ressemblerait beaucoup au diagramme n° 1, avec cette différence seulement que les courbes apparaîtraient plus régulières, moins accidentées; le coude que fait la courbe du « salant total » dans la 2e moitié du 2e pied aurait disparu complètement et celui que fait, au même niveau, la courbe du carbonate — presque entièrement; la courbe du sel marin s'étirerait presque en une ligne verticale, avec un maximum égal à 0.03 p. 100 dans le 4e quart du 3e pied; les accidents de la courbe des sulfates s'aplaniraient aussi très notablement, en même temps que le maximum de cette courbe atteindrait 0.11 p. 100, tout en remontant du 3e quart dans le 2e quart du 3e pied. Voici les chiffres se rapportant à cette série 1 *a* :

HORIZON des ÉCHANTILLONS.	POUR 100 DU SOL.					COMPOSITION CENTÉSIMALE DU SALANT.				LIVRES A L'ACRE.				
	Total des sels d'alcalis solubles.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.
De 0 au 3e pouce inclusivement	.026	.013	.008	»	.005	50.0	30.8	»	19.2	260	130	80	»	50
Du 3e au 6e —	.016	.012	.004	»	»	75.0	25.0	»	»	160	120	40	»	»
Du 6e au 9e —	.020	.014	.006	»	»	70.0	30.0	»	»	200	140	60	»	»
Du 9e au 12e —	.021	.013	.009	.002	»	51.1	37.5	8.4	»	240	130	90	20	»
Moyenne pour le 1er pied	*.022*	*.013*	*.006*	»	*.001*	*59.1*	*27.4*	*4.9*	*9.1*	*860*	*520*	*270*	*20*	*50*
Alkali Hardpan. Du 12e au 15e pouce inclusivement	.051	.004	.038	.012	»	5.6	72.2	22.2	»	510	40	380	120	»
Du 15e au 18e —	.117	.017	.100	»	»	14.5	85.5	»	»	1,170	170	1,100	»	»
Du 18e au 21e —	.197	.025	.170	.002	»	12.7	86.3	1.0	»	1,970	250	1,700	20	»
Du 21e au 24e —	.248	.060	.182	.006	»	21.2	73.4	2.4	»	2,480	600	1,820	60	»
Moyenne pour le 2e pied	*.154*	*.027*	*.122*	*.005*	»	*17.5*	*79.2*	*3.3*	»	*6,160*	*1,060*	*5,000*	*200*	»
Du 24e au 27e pouce inclusivement	.320	.082	.229	.009	»	25.6	71.5	2.9	»	3,200	820	2,290	90	»
Du 27e au 30e —	.461	.115	.335	.011	»	24.9	72.6	2.5	»	4,610	115	3,350	110	»
Du 30e au 33e —	.512	.087	.411	.014	»	16.9	80.2	2.9	»	5,120	870	4,110	140	»
Du 33e au 36e —	.300	.054	.217	.029	»	18.0	72.3	9.7	»	3,000	540	2,170	290	»
Moyenne pour le 3e pied	*.398*	*.084*	*.298*	*.016*	»	*21.1*	*74.9*	*4.0*	»	*15,930*	*2,345*	*11,920*	*630*	»
Du 36e au 39e pouce inclusivement	.110	.022	.085	.003	»	20.0	77.2	2.8	»	1,100	220	850	30	»
Du 39e au 42e —	.068	.012	.053	.003	»	17.6	77.9	4.5	»	680	120	530	30	»
Du 42e au 45e —	.045	.007	.032	.006	»	15.5	71.1	13.4	»	450	70	320	60	»
Du 45e au 48e —	.024	.005	.017	.002	»	20.8	70.8	8.4	»	240	50	170	20	»
Moyenne pour le 4e pied	*.062*	*.012*	*.047*	*.003*	»	*19.3*	*75.8*	*4.9*	»	*2,470*	*460*	*1,870*	*140*	»
Moyenne pour les quatre pieds	*.159*	*.034*	*.119*	*.006*	»	*21.3*	*74.8*	*3.9*	»	*25,420*	*4,385*	*19,060*	*990*	*50*

Série n° 2 *a*. — Ayant servi à l'établissement du diagramme 2 *a*.

HORIZON de CHAQUE ÉCHANTILLON.	POUR 100 DU SOL.				POUR 100 DU MÉLANGE SALIN SOLUBLE.			LIVRES A L'ACRE.			
	Total des sels d'alcalis.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium	Total.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.
De 0 à 3 pouces	.178	.105	.064	.009	58.9	35.9	5.2	1 780	1 050	640	90
De 3 à 6 —	.085	.022	.059	.001	25.8	69.4	4.8	850	220	590	40
De 6 à 9 —	.163	.049	.110	.001	28.4	67.4	4.2	1 630	490	1 100	40
De 9 à 12 —	.210	0.83	.123	.001	39.5	58.6	1.9	2 100	830	1 230	40
Moyenne pour le 1er pied .	*.159*	*.065*	*.089*	*.005*	*40.9*	*56.0*	*3.1*	*6 360*	*2 590*	*3 560*	*210*
Moyenne pour le 2e pied .	*.256*	*.096*	*.123*	*.037*	*37.5*	*48.0*	*14.5*	*10 240*	*3 840*	*4 920*	*1 480*
Moyenne pour le 3e pied .	*.088*	*.007*	*.076*	*.005*	*7.9*	*86.3*	*5.8*	*3 520*	*280*	*3 040*	*20*
Du 36e au 42e pouce . . .	.025	.012	.006	.007	48.0	25.0	27.0	500	240	120	140
Du 42e au 48e — . . .	.029	.018	.009	.002	58.5	39.1	10.4	580	360	180	40
Moyenne pour le 4e pied .	*.027*	*.015*	*.008*	*.004*	*55.5*	*29.6*	*14.9*	*1 080*	*600*	*300*	*180*
Moyenne pour les 4 pieds	*.133*	*.046*	*.074*	*.013*	*34.5*	*55.6*	*9.9*	*21 200*	*7 310*	*11 820*	*1 890*

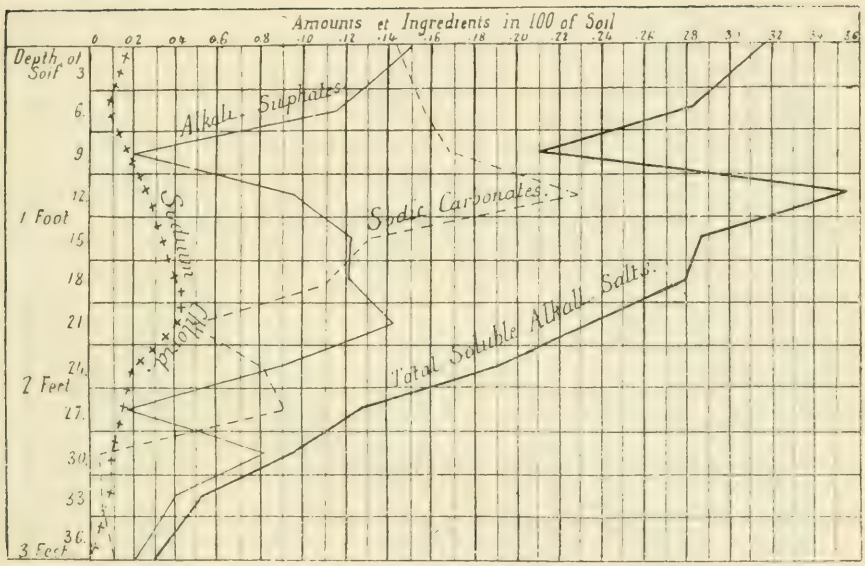
Diagramme 2 *a*.



Série n° 2 *b*. — Ayant servi à l'établissement du diagramme 2 *b*.

HORIZON de CHAQUE ÉCHANTILLON.	POUR 100 DU SOL.				COMPOSITION CENTÉSIMALE DU SALANT.			LIVRES A L'ACRE.			
	Total des sels d'alcalis	Sulfates d'alcalis	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Sulfates d'alcalis	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.
De 0 au 3e pouce inclusivement	.308	.141	.148	.016	46.2	48.5	5.3	3 080	1 410	1 480	160
Du 3e au 6e —	.282	.117	.156	.009	41.4	55.3	3.3	2 820	1 170	1 560	90
Du 6e au 9e —	.210	.021	.170	.019	10.0	80.9	9.1	2 100	210	1 710	190
Du 9e au 12e —	.253	.096	.229	.028	27.2	64.8	8.0	3 530	960	2 290	280
Moyenne pour le 1er pied	*.288*	*.094*	*.176*	*.018*	*32.6*	*61.1*	*6.3*	*11 530*	*3 750*	*7 040*	*720*
Du 12e au 15e pouce inclusivement	.286	.122	.131	.033	42.7	45.8	11.5	2 860	1 220	1 310	330
Du 15e au 18e —	.278	.121	.115	.042	43.5	41.4	15.1	2 780	1 210	1 150	420
Du 18e au 21e —	.233	.142	.049	.042	60.9	21.0	18.1	2 330	1 420	490	420
Du 21e au 24e —	.188	.088	.081	.019	46.8	43.0	10.2	1 880	880	810	190
Moyenne pour le 2e pied	*.246*	*.118*	*.094*	*.034*	*47.9*	*38.2*	*13.9*	*9 850*	*4 730*	*3 760*	*1 360*
Du 24e au 27e pouce inclusivement	.126	.017	.090	.019	13.5	71.4	15.1	1 260	170	900	190
Du 27e au 30e —	.095	.082	.004	.009	86.3	4.2	9.5	950	820	40	90
Du 30e au 33e —	.052	.038	.004	.009	73.0	7.6	19.4	520	380	40	90
Du 33e au 36e —	.036	.027	.009	»	75.0	25.0	»	360	270	90	»
Moyenne pour le 3e pied	*.077*	*.041*	*.027*	*.009*	*53.2*	*35.0*	*11 8*	*3 090*	*1 640*	*1 070*	*370*
Moyenne pour les trois pieds	*.152*	*.063*	*.074*	*.015*	*41.4*	*48.7*	*9.9*	*24 470*	*10 120*	*11 870*	*2 450*

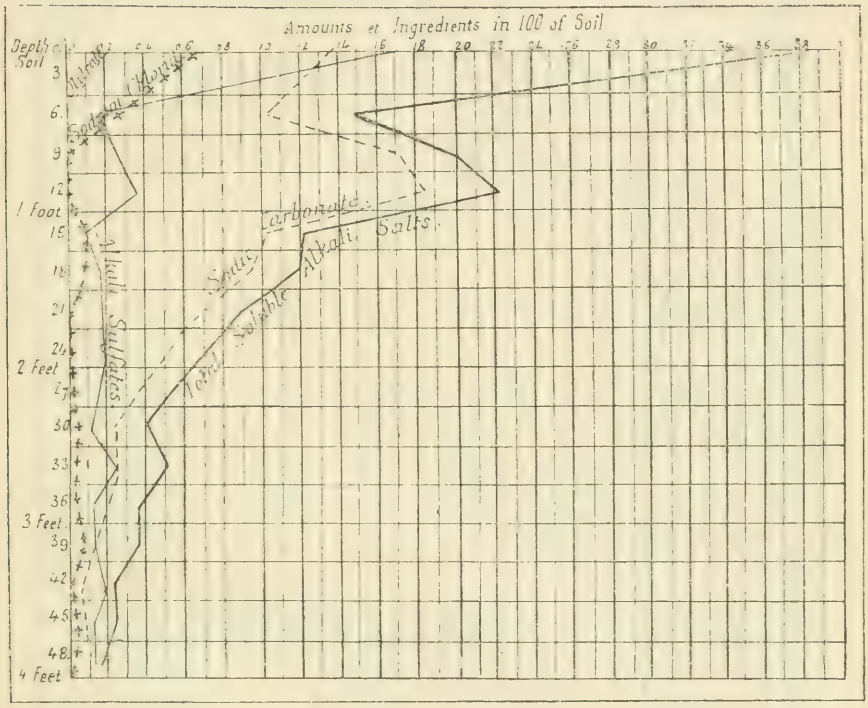
Diagramme 2 *b*.



Série n° 2 c. — Ayant servi à dresser le diagramme 2 c.

HORIZON des ÉCHANTILLONS.	POUR 100 DU SOL.					COMPOSITION CENTÉSIMALE.				LIVRES A L'ACRE.				
	Total des sels solubles d'alcalis.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.
De 0 au 3e pouce inclusivement . . .	.303	.116	.123	.055	.009	38.2	40.6	18.1	3.1	3 030	1 160	1 230	550	90
Du 3e au 6e — . . .	.145	.015	.102	.028	»	10.4	70.3	19.3	»	1 450	150	1 020	280	»
Du 6e au 9e — . . .	.198	.026	.170	.002	»	13.1	85.8	1.1	»	1 980	260	1 700	20	»
Du 9e au 12e — . . .	.220	.036	.184	»	»	16.4	83.6	»	»	2 200	360	1 840	»	»
Moyenne pour le 1er pied	*.216*	*.048*	*.145*	*.021*	*.002*	*22.2*	*67.1*	*10.1*	*0.6*	*8 660*	*1 930*	*5 790*	*850*	*90*
Du 12e au 15e pouce inclusivement. . .	.120	.008	.102	.010	»	6.6	85.0	8.4	»	1 200	80	1 020	100	»
Du 15e au 18e — . . .	.117	.015	.093	.009	»	12.8	79.5	7.7	»	1 170	150	930	90	»
Du 18e au 21e — . . .	.087	.017	.068	.002	»	19.4	78.1	2.5	»	870	170	680	20	»
Du 21e au 24e — . . .	.071	.020	.051	»	»	28.1	17.9	»	»	710	200	510	»	»
Moyenne pour le 2e pied	*.099*	*.015*	*.079*	*.005*	»	*15.1*	*79.7*	*5.2*	»	*3 950*	*600*	*3 140*	*210*	»
Du 24e au 27e pouce inclusivement. . .	.051	.013	.038	»	»	25.5	74.5	»	»	510	130	380	»	»
Du 27e au 30e — . . .	.038	.010	.023	.005	»	26.3	60.5	13.2	»	380	100	230	50	»
Du 30e au 33e — . . .	.049	.022	.025	.002	»	44.9	51.0	4.1	»	490	220	250	20	»
Du 33e au 36e — . . .	.035	.012	.019	.004	»	34.3	54.3	11.4	»	350	120	190	40	»
Moyenne pour le 3e pied	*.043*	*.014*	*.026*	*.003*	»	*32.5*	*60.4*	*7.1*	»	*1 730*	*570*	*1 050*	*110*	»
Du 36e au 39e pouce inclusivement. . .	.035	.014	.013	.008	»	40.0	37.1	22.9	»	350	140	130	80	»
Du 39e au 42e — . . .	.023	.017	.006	»	»	73.9	26.1	»	»	230	170	60	»	»
Du 42e au 45e — . . .	.023	.011	.008	.004	»	47.4	34.8	17.8	»	230	110	80	40	»
Du 45e au 48e — . . .	.016	.012	.002	.002	»	75.0	12.5	12.5	»	160	120	20	20	»
Moyenne pour le 4e pied	*.024*	*.013*	*.007*	*.004*	»	*54.1*	*29.1*	*16.8*	»	*970*	*540*	*290*	*140*	»
Moyenne pour les quatre pieds. . . .	*.095*	*.023*	*.064*	*.008*	*trace.*	*24.2*	*67.4*	*8.4*	»	*15 310*	*3 640*	*10 270*	*1 310*	*90*

Diagramme 2 *c*.

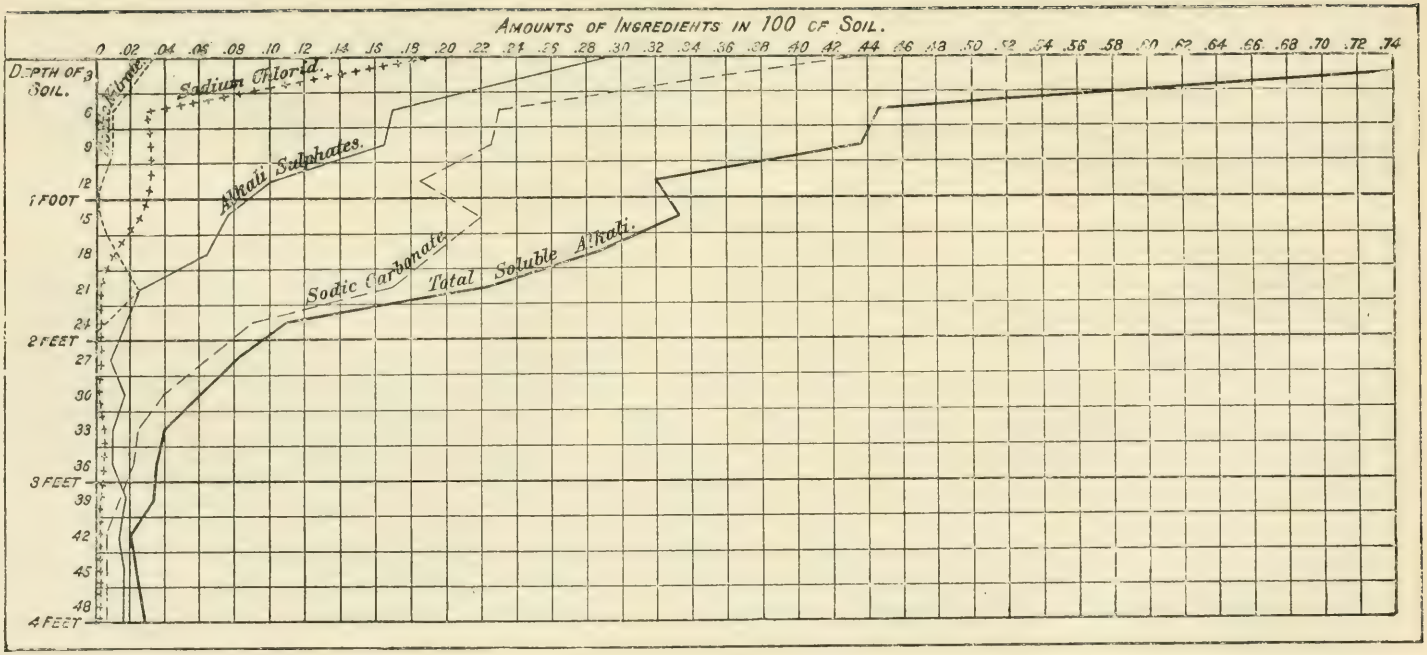


Les diagrammes 2 *a*, 2 *b* et 2 *c* représentent la distribution verticale du salant dans un seul et même terrain, partiellement amendé par le plâtrage, et qui a produit de l'orge haute de 4 pieds ; les 3 torages sont à quelques pieds seulement de distance les uns des autres ; les différences dans la distribution du salant ne sont dues essentiellement qu'à la différence des conditions au moment du prélèvement : 2 *a*, ayant été échantillonné le 31 mars (l'orge était haute de 2 pieds) ; 2 *b*, quelques jours après, en mai, le terrain ayant reçu tout récemment, par le fait d'une pluie, 0,9 d'un pouce d'eau ; enfin 2 *c* le 21 septembre, après 5 mois de sécheresse.

Série n° 3. — Chiffres ayant servi à l'établissement du diagramme n° 3.

HORIZON des ÉCHANTILLONS.	POUR 100 DU SOL.					COMPOSITION CENTÉSIMALE DU SALANT.				LIVRES A L'ACRE.				
	Total des séls d'alcalis solubles.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.
0 à 3 pouces. . . .	.773	.251	.351	.144	.027	32.4	45.4	18.6	3.6	7 730	2 510	3 510	1 440	270
3 à 6 pouces. . . .	.449	.170	.233	.035	.011	37.8	51.8	7.8	2.6	4 490	1 700	2 330	350	110
6 à 9 pouces. . . .	.436	.164	.225	.037	.010	37.6	51.6	8.4	2.4	4 360	1 640	2 250	370	100
9 à 12 pouces. . . .	.318	.099	.184	.033	.002	31.1	57.8	10.3	.8	3 180	990	1 840	330	20
Moyenne p. le 1er pied.	*.494*	*.171*	*.248*	*.062*	*.013*	*34.6*	*50.2*	*12.5*	*2.9*	*19 800*	*6 840*	*9 930*	*2 490*	*500*
12 à 15 pouces. . . .	.332	.076	.229	.027	»	22.9	68.9	8.2	»	3 320	760	2 290	270	»
15 à 18 pouces. . . .	.286	.065	.199	.014	.008	22.8	69.5	4.9	2.8	2 860	650	1 990	140	80
18 à 21 pouces. . . .	.223	.026	.170	trace.	.027	11.6	76.2	»	12.2	2 230	260	1 700	»	270
21 à 24 pouces. . . .	.109	.016	.093	trace.	»	14.7	85.3	»	»	1 090	160	930	»	»
Moyenne p. le 2e pied.	*.238*	*.046*	*.173*	*.010*	*.009*	*19.7*	*72.6*	*4.2*	*3.5*	*9 500*	*1 830*	*6 910*	*410*	*350*
24 à 27 pouces. . . .	.080	.007	.068	.005	»	8.7	85.0	6.3	»	800	70	680	50	»
27 à 30 pouces. . . .	.058	.018	.040	trace.	»	31.1	68.9	»	»	580	180	400	»	»
30 à 33 pouces . . .	.040	.010	.025	.005	»	25.0	62.5	12.5	»	400	100	250	50	»
33 à 36 pouces. . . .	.036	.010	.021	.005	»	37.2	58.3	14.5	»	360	100	210	50	»
Moyenne p. le 3e pied.	*.054*	*.011*	*.039*	*.004*	»	*20.3*	*72.2*	*7.5*	»	*2 140*	*450*	*1 540*	*150*	»
36 à 39 pouces. . . .	.034	.019	.013	.002	»	55.8	38.2	6.0	»	340	190	130	20	»
39 à 42 pouces . . .	.019	.013	.004	.002	»	68.4	21.0	11.0	»	190	130	40	20	»
42 à 45 pouces. . . .	.023	.017	.004	.002	»	73.8	17.3	8.9	»	230	170	40	20	»
45 à 48 pouces. . . .	.027	.018	.002	.007	»	62.9	11.2	25.9	»	270	180	20	70	»
Moyenne p. le 4e pied.	*.026*	*.017*	*.006*	*.003*	»	*65.4*	*23.0*	*11.4*	»	*1 030*	*670*	*230*	*130*	»
Moyenne p. les 4 pieds.	*.203*	*.061*	*.117*	*.020*	*.005*	*30.0*	*57.6*	*9.8*	*2.6*	*32 470*	*9 790*	*18 610*	*3 180*	*850*

Diagramme n° 3.



Terrain salant irrigué, stérile ; à dix pieds plus loin, orge haute de 4 pieds. Échantillonné le 3 mai 1895.

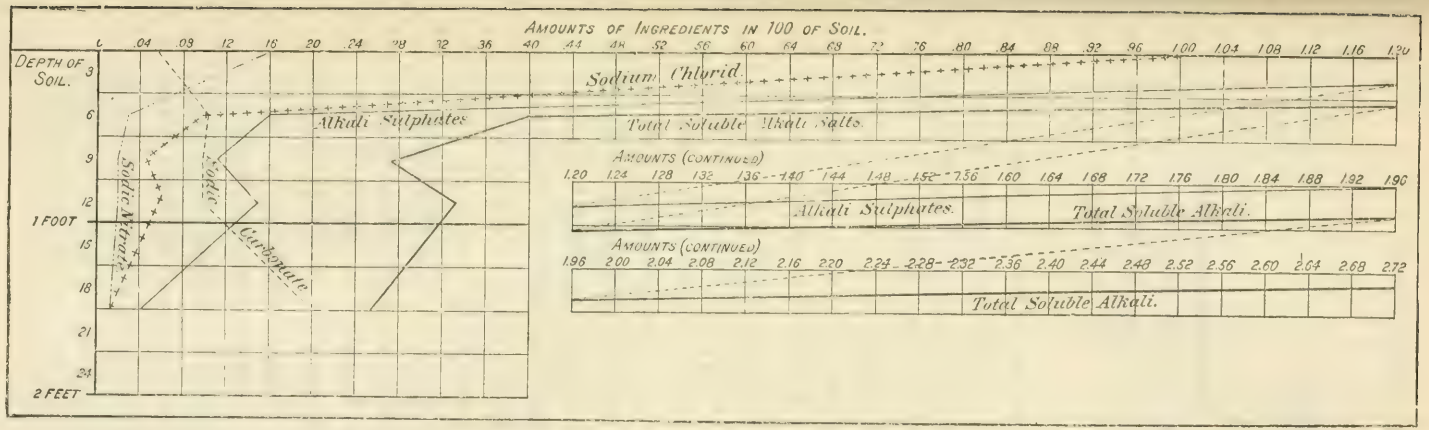
Si on prolongeait la courbe du « salant total » jusqu'à la surface du sol, elle arriverait à un maximum (théorique, bien entendu) de 0 90 p. 100.

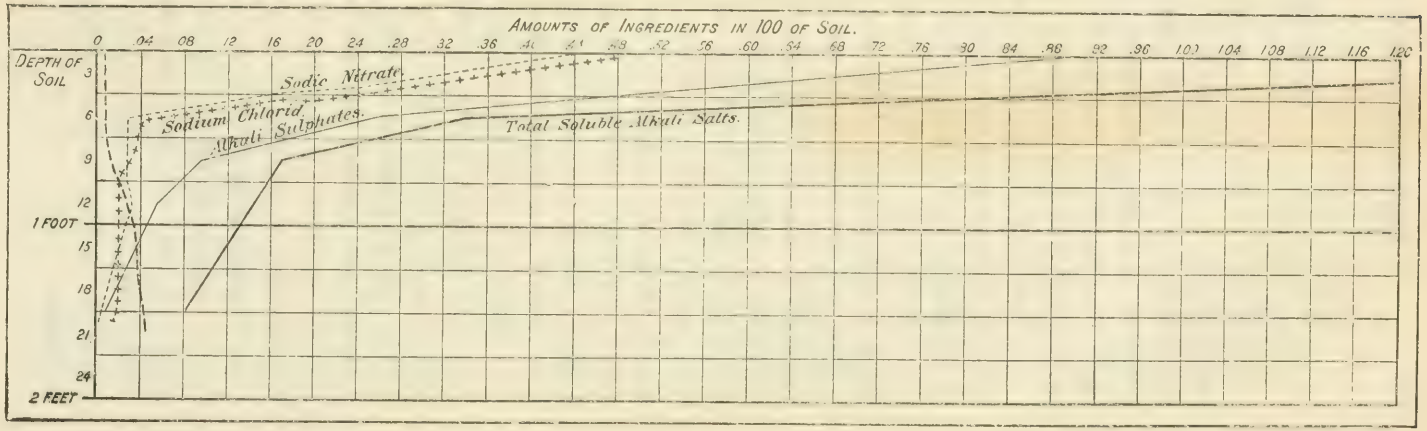
Série n° 4 *a*. — Répond au diagramme 4 *a*.

HORIZON de chaque échantillon.	POUR 100 DU SOL.						POUR 100 DU MÉLANGE SALIN SOLUBLE.					LIVRES A L'ACRE.				
	Total des sels d'alcalis	Sulfate de potassium.	Sulfate de sodium.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfate de potassium.	Sulfate de sodium.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.
De 0 à 3 pouces	2.358	0.005	1.416	0.074	0.739	0 124	0.2	60.1	3.7	31.3	5.3	23 580	14 210	740	7 390	1 240
De 3 à 6 —	0.398	0.009	0.150	0.106	0.099	0.034	2.8	37.6	26.2	24.9	8.5	3 980	1 590	1 060	990	340
De 6 à 9 —	0.274	0.005	0.106	0.098	0.014	0.021	2.1	38.6	35.7	16.0	7.6	2 740	1 100	980	440	210
De 9 à 12 —	0.328	0.004	0.145	0.098	0.060	0.021	1.3	44.2	29.8	18.3	6.4	3 280	1 490	980	600	210
Moyenne pour le 1er pied.	*0.840*	*0.006*	*0.454*	*0.094*	*0.236*	*0.050*	*0.8*	*54.0*	*11.2*	*28.1*	*5.9*	*33 580*	*18 390*	*3 760*	*9 420*	*2 000*
Moyenne pour le 2e pied .	*0.252*	*0.003*	*0.038*	*0.192*	*0.009*	*0.010*	*1.2*	*15.1*	*76 2*	*3.6*	*3.9*	*10 080*	*1 640*	*7 680*	*360*	*400*
Moyenne pour les 2 pieds.	*0.546*	*0.005*	*0.246*	*0.143*	*0.122*	*0.030*	*1.1*	*45.0*	*26.1*	*22.3*	*5.5*	*43 660*	*20 030*	*11 440*	*9 780*	*2 400*

Série 4 *b*. — Répond au diagramme 4 *b*.

De 0 à pouces	1.381	0.094	0.600	0.008	0.350	0.329	6.8	43.4	0.7	25.3	23.8	13 810	6 490	80	3 500	3 290
De 3 à 6 —	0.354	0.015	0.247	0.008	0.046	0.038	4.2	69.7	2.5	12.9	10.7	3 540	2 520	80	460	380
De 6 à 9 —	0.174	0.001	0.093	0.011	0.035	0.031	3.0	52.8	6.3	20.1	17.8	1 740	970	110	350	310
De 9 à 12 —	0.143	0.009	0.050	0.029	0.023	0.032	6.6	34.9	20.2	16.0	22.3	1 430	590	290	230	320
Moyenne pour le 1er pied.	*0.513*	*0.030*	*0.248*	*0.014*	*0.113*	*0.108*	*5.8*	*48.3*	*2.8*	*22.0*	*21.0*	*20 520*	*11 020*	*560*	*4 540*	*4 300*
Moyenne pour le 2e pied .	*0.083*	*0.004*	*0.021*	*0.041*	*0.014*	*0.003*	*3.7*	*25.3*	*49.4*	*16.8*	*4.8*	*3 320*	*1 000*	*1 640*	*560*	*120*
Moyenne pour les 2 pieds.	*0.298*	*0.017*	*0.134*	*0.028*	*0.064*	*0.055*	*6.0*	*44.9*	*9.3*	*21.4*	*18.4*	*23 840*	*12 020*	*2 200*	*5 100*	*4 420*





Se rapportent à deux parcelles différentes d'un même terrain salant plâtré et, de ce fait, partiellement amendé ; échantillons prélevés au même moment, en septembre 1894. L'orge se refuse à croître au premier endroit (4 *a*) ; elle atteint 4 pieds de haut au second endroit (4 *b*), qui a donné une récolte de foin d'orge à raison d'une tonne à l'acre. — Dans le diagramme 4 *a*, la courbe du salant total arriverait à 1.96 p. 100 si on la prolongeait jusqu'à la surface du sol ; dans le diagramme 4 *b*, elle arriverait à 3.24 p. 100.

Commentaire.

Les *séries 1 et 1 a* se rapportent à des points éloignés l'un de l'autre de 15 pieds, cependant à peu près identiques pour ce qui est du dosage global et de la composition centésimale du salant; à condition de ne pas nous arrêter aux tout petits détails, l'on peut donc se permettre de considérer les deux tableaux comme s'ils se rapportaient à un seul et même point.

Le premier (1) représente la distribution verticale du salant dans le sol au printemps, en mars-mai; le second (1 *a*), au commencement de septembre, après une sécheresse de quatre mois ou davantage; or, contrairement à ce qui a été dit au début de cet article, on voit que la distribution du salant n'a pas changé!

C'est que les conditions dans lesquelles ce sol se trouve comportent à peine une évaporation d'eau par la surface et, partant, l'appel des solutions salines dans la couche arable n'a lieu que dans une mesure négligeable. En effet, l'endroit en question, situé à un demi-mille anglais au nord du champ d'expériences de Tulare, est un terrain vierge non irrigué; comme la provision totale de salant n'y est pas très considérable, un dense gazon de graminées et d'herbes a pu s'y établir par un printemps favorable, les pluies hivernales ayant évacué le principal du salant à une profondeur de trois pieds — horizon qui n'est point atteint par les racines du gazon; ces racines ne dépassent pas la profondeur de 18 à 24 pouces; à la profondeur de 24 pouces, le taux total du salant, au printemps, y est de 0.21 p. 100 du poids du sol; les racines d'un assez grand nombre d'espèces sont aptes à supporter sans dommage ce degré de salinité. Or, la surface du sol une fois gazonnée, elle n'évapore plus que dans une mesure insignifiante, le principal de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol se fait par la voie même des plantes; la couche supérieure du sol, bientôt réduite à un minimum d'humidité par le fait de la consommation d'eau que font les racines superficielles du gazon, assume le rôle d'une couverture protectrice à la manière de ces « paillis » en usage dans les pays à salant du midi de la France.

Le fait est que la parcelle à laquelle se rapportent les deux tableaux ne produit pas d'efflorescences salines. « Une culture quelconque », font observer MM. Hilgard et Loughridge, « tendrait à empêcher la montée du sel à l'égal de ce gazon naturel, pourvu que les plantes aient bien pris au printemps et qu'elles constituent une couverture parfaite » ; mais dégarnissez ce sol, aussitôt l'évaporation superficielle et l'appel par capillarité reprendront leur plein jeu et, avant que vous ayez eu le temps de vous y reconnaître, il y aura une « tache » manifeste, avec efflorescences et tout ce qui s'en suit ; et si l'hiver n'est pas très pluvieux, peut-être qu'encore même au printemps suivant vous vous trouverez en présence d'une couche arable trop imprégnée de sels pour permettre la germination des graines que vous y aurez semées.

C'est ainsi qu'une luzernière, une fois créée, prospère pendant des années et des années ; mais voici venir une saison où, pour une raison quelconque, le semis n'aura point levé ; la surface dégarnie, exposée à l'insolation et à une évaporation intense, se remet à fonctionner à la manière d'une pompe et bientôt la couche arable du champ est resalée si solidement que peut-être faudra-t-il attendre plusieurs années avant de pouvoir y remettre quelque chose d'utile. « Le cas que représentent les tableaux 1 et 1 *a* est typique pour une grande partie des sols de la Station de Tulare et du pays environnant, pour mille autres localités de la vallée de San-Joaquin et pour l'autres régions de la Californie ; autant que ces sols demeurent abandonnés à eux-mêmes, il n'y a que de loin en loin quelques taches d'efflorescences salines qui y apparaissent ; à part ces taches, le reste du terrain se couvre au printemps d'une luxuriante végétation d'herbes, pour la plupart annuelles, dont beaucoup ont une floraison superbe, de sorte que le pays prend un aspect fort attrayant. Avec le progrès de la saison, en avril-juin, ces plantes montent en graines ou se dessèchent ; seules, subsistent quelques espèces spécialement adaptées à la sécheresse, la plupart vivaces.

Dans la règle, c'est-à-dire à part les saisons anormales, la superficie globale des taches salantes dispersées de-ci de-là dans la campagne, si on voulait les additionner les unes aux autres, se trouverait demeurer à peu près invariable d'une année à l'autre, tout en ad-

mettant des changements de place. Défrichés et mis en culture, *sans irrigation*, des terrains de cette nature, dans les années particulièrement humides, produisent, grâce à leur énorme richesse intrinsèque, des récoltes de toute beauté qui dédommagent le cultivateur des échecs absolus dans les années plus sèches. Naturellement, c'est là un jeu quelque peu hasardeux auquel maint brave homme s'est ruiné ; il faut ajouter que quelques heureux, particulièrement favorisés par la chance, s'y sont enrichis.

Pendant quelque temps, cela dure ainsi, telle année comblant les greniers, telle autre semant la ruine et le découragement, jusqu'à ce que la population se décide à établir l'irrigation artificielle, et alors voici ce qui se produit :

Pendant quelques années, l'on a des récoltes plus belles les unes que les autres, mais avec le temps, l'on remarque que de petites taches salantes anciennes et bien connues se mettent à grossir, font tache d'huile, en arrivent à se rencontrer, se confondent en une seule grande tache ; d'autres apparaissent où l'on n'en n'avait jamais vu, d'abord minuscules, « pas plus grandes que la main », mais, avec les années, s'étendent de plus en plus jusqu'à ce que le champ se trouve à ce point moucheté et coupé de taches et de bandes stériles qu'il ne reste qu'à plier bagages.

La qualité de l'eau employée pour l'irrigation n'y est pour rien ; il s'est passé de ces choses en Californie, même dans les pays irrigués par des canaux dérivés de la Kings River et de la Kaweah River, dont l'eau est d'une pureté idéale.

Le *diagramme n° 3* donne une idée bien nette de l'état des choses dans un pareil terrain dégarni de couverture végétale et soumis à l'irrigation. « Souvent, le tableau sera moins prononcé ; soit que l'évaporation n'aura pas encore duré assez de temps pour amener le plein de ses conséquences ; soit que, par une culture soignée et attentive de la surface, le terrain aura été, jusqu'à un certaint point, mis à l'abri de ce phénomène de « montée » du salant, soit que, enfin, le sol porte une couverture végétale protectrice pendant toute l'année, comme c'est le cas de luzernières irriguées. »

La concentration du salant dans la couche arable aux dépens des

couches plus profondes atteindra son maximum dans des vergers irrigués où le sol entre les arbres fruitiers demeure nu ; dans ces conditions, lorsque, en plus, le salant comprend du carbonate de soude, la couche arable s'affaisse et finit par se convertir en un tuf alcalin absolument analogue au « hardpan » du sous-sol ; rien d'étonnant à cela — mêmes facteurs, mêmes effets.

Le « alkali hardpan » étant imperméable, la surface de terrains ainsi dégradés ne tarde pas à se couvrir de flaques quelquefois permanentes, d'eau noircie par le fait de la solubilité de l'humus en présence du carbonate de soude.

Diagrammes nos 2a, 2b et 2c. — Ces diagrammes représentent un terrain salant qui a reçu en 1894 et 1895 un amendement de plâtre[1], chaque fois à raison de 1/2 tonne par acre ; cette intervention était devenue nécessaire à la suite du resalement de la couche arable qu'avait amené l'irrigation. Antérieurement cet endroit — un verger — ne présentait qu'une insignifiante tache salante en contre-bas du reste de la parcelle ; mais dès l'établissement de l'irrigation cette tache s'était mise à grandir jusqu'à ce que, en automne de 1893, la plus grande partie du terrain se trouva encroûtée et totalement dégradée ; les arbres avaient péri.

Le plâtrage ne manqua point son effet : en 1893, à peine quelques touffes de l'orge que l'on avait semée sur l'emplacement de l'ancien verger, avaient-elles mûri leurs épis ; en 1894, malgré une saison très sèche, la moitié à peu près du terrain plâtré fournit du foin d'orge à raison de 1 tonne à l'acre, les brins ayant atteint 2 pieds de haut ; en 1895 la récolte en fut à raison de 2 tonnes et demie à l'acre avec des brins hauts, en mai, de 4 pieds. Le diagramme 2*b* représente l'état des choses en mai 1895, après que, quelque temps auparavant, il y avait eu une pluie égale à environ 0.9 d'un pouce d'eau ; ce sont spécialement *les relations réciproques des deux courbes des sulfates d'alcalis et du « carbonate de soude »* qui doivent retenir l'attention du lecteur : à proximité de la surface il y a à peu près autant de carbonate que de sulfates, mais bientôt les courbes com-

1. Voyez le *Progrès agricole et viticole,* année 1894 : « Le Plâtrage des terrains alcalins. »

mencent à diverger, jusqu'à ce que, entre le 6e et le 12e pouce de profondeur, les sulfates ne soient tombés à 0.02 p. 100 du sol et le carbonate monté à 0.23 p. 100 ; dans la suite de leur parcours les deux courbes se rapprochent et en arrivent à se croiser à 15 pouces de la surface, pour diverger à nouveau jusqu'à la couche comprise entre le 18e et le 12e pouce ; à ce niveau, la situation est l'inverse de la précédente ; c'est ici les sulfates qui ont le dessus, avec 0.14 p. 100 et le carbonate le dessous avec 0.04 p. 100. Entre le 21e et le 24e pouce, nouvelle intersection ; entre le 24e et le 27e, nouvel écartement maximum avec 0.09 p. 100 de carbonate contre 0.02 p. 100 de sulfate. Au niveau du 27e pouce encore intersection ; entre le 27e et le 30e, encore un écartement maximum, toujours renversé par rapport au précédent : cette fois c'est 0.08 p. 100 de sulfate contre 0.09 p. 100 de carbonate.

Les sols salants contiennent toujours plus ou moins de carbonate de chaux et de magnésie et de sulfate des mêmes métaux ; dans le cas spécial dont il s'agit, il a été encore ajouté beaucoup de plâtre artificiellement à titre d'amendement ; or, entre les carbonates de chaux et de magnésie d'une part et les sulfates et chlorures d'alcalis d'autre part, en présence d'un excès d'acide carbonique, d'une certaine humidité et à certaine température, il s'établit une réaction d'échange dont la conséquence est le passage d'une partie des sulfates et chlorures d'alcalis en carbonates ; *vice versa*, lorsqu'il n'y a point d'excès d'acide carbonique, lorsque les conditions d'humidité et la température sont différentes, les carbonates d'alcalis entrent en réaction d'échange inverse avec les sulfates de chaux et de magnésie et il en résulte la transformation d'une partie des carbonates d'alcalis en sulfates.

La reconstitution des chlorures d'alcalis ne peut avoir lieu dans les mêmes proportions que celle des sulfates, à cause de l'extrême solubilité des chlorures de chaux et de magnésie formés lors de la transformation antérieure de chlorures d'alcalis en carbonates ; par le fait de cette grande solubilité la plus grande partie des chlorures alcalino-terreux se trouve éliminée dans les couches profondes du sol ou dans le drainage général de la localité ; lorsque les conditions ambiantes amènent la neutralisation des carbonates d'alcalis, c'est

donc, en première ligne, des sulfates d'alcalis qui en résultent, et *vice versa ;* de là, dans le diagramme 2*b* la corrélation si curieuse des courbes qui figurent la distribution verticale des sulfates et du carbonate.

Voici l'interprétation qu'en donnent MM. Hilgard et Loughridge :

Il y a eu une pluie, depuis, du soleil ; les couches successives du sol se sont trouvées humectées et échauffées à un point différent, chacune *en raison des différences de leurs propriétés hygroscopiques et caloriques ;* comme conséquence, la fermentation de l'humus, source d'acide carbonique, a été très intense dans les unes et insignifiante dans les autres; et alors, dans les unes il y a eu excès d'acide carbonique et transformation de sulfates en carbonates ; dans les autres, ces conditions faisant défaut, les réactions d'échange ont eu lieu dans le sens opposé, des carbonates d'alcalis sont passés en sulfates.

D'une manière générale, de grandes quantités d'acide carbonique ne sont formées qu'à la condition que le sol soit bien humide ; de là, la proportion importante de carbonate d'alcali dans la profondeur du sol où d'habitude se localise l'humidité , à moins que les pluies ou une abondante irrigation n'aient pour quelque temps rendu aussi la surface assez humide pour favoriser une fermentation intense de l'humus, auquel cas on peut trouver, même à la surface, une relative abondance de carbonates d'alcalis.

Dans les conditions normales on constatera donc toujours que la richesse du mélange salin en carbonate de sodium augmente à mesure que l'on s'enfonce, et cela, aussi longtemps qu'il y a de l'humus et partant possibilité de production d'acide carbonique.

Il en est ainsi dans les cas illustrés par les *diagrammes* 1, 4*a*, 4*b* ; la comparaison de ces 3 diagrammes donne à la fois un bel exemple de l'influence de la saison : les deux diagrammes 4*a* et 4*b* représentent des sols naturellement asséchés et ventilés pendant toute la durée d'un été ; il en résulte, en même temps que l'accumulation du salant vers la surface, une prédominance de sulfates tout aussi tranchée que la prédominance du carbonate l'est dans le « hard-pan » du sous-sol dans le diagramme n° 1.

Dans ce seul et même forage n° 1, les quinze premiers pouces contiennent les sulfates et le carbonate en proportions presque égales, tandis qu'à 45 pouces de profondeur le carbonate constitue la presque totalité (94 p. 100) du salant.

D'ailleurs, il est d'observation constante que, dans un terrain donné, ce sont toujours les parties les plus basses et les plus humides qui accusent le plus d' « alcali noir » ; qu'à conditions égales, un sol argileux, lourd, a toujours le salant plus chargé de carbonate qu'un sol sablonneux, léger.

Toutes les fois qu'un sol est parfaitement aéré (comme c'est le cas de terres drainées à tuyaux), il n'y a guère à craindre de voir le sol se charger de carbonate de sodium ; s'il s'en forme, il ne tardera pas à revenir à l'état de sulfate. Au contraire, toutes les fois qu'un terrain salant est laissé longtemps imbibé d'eau, il y a danger d'enrichissement en carbonates, aux dépens des sulfates.

A ce propos MM. Hilgard et Loughride font observer que, « bien qu'un grand excès de plâtre devrait essentiellement retarder les réactions inverses qui tendent à annuler les bons effets qui auraient pu être obtenus par le plâtrage d'un terrain à « alcali noir », il ne faut pas oublier non plus que l'expérience de tous les temps, dans d'autres pays, enseigne que les sols riches en plâtre sont très susceptibles d'être sérieusement endommagés par la stagnation des eaux, en raison de la réduction qui en pourrait résulter du sulfate en sulfure capable de dégager du sulfure d'hydrogène excessivement nuisible à la végétation ».

Salinité exprimée en livres à l'acre.

Ceci est un chapitre que je me permettrai de traduire presque sans modifications en commençant par les tableaux I, II, III, pages 419, 420 et 422, qui en constituent la partie essentielle.

Je rappelle que le calcul est basé sur l'estimation d'un acre-pied à 4 000 000 de livres anglaises.

Considérons d'abord les échantillons prélevés sur les deux endroits stériles où l'orge s'est refusée à germer ou à croître (tableau I, page 419 : n° 3 et n° 4*a*) ; nous constatons un total de 32 470 livres

(la couche entrant en jeu est de 4 pieds) et de 43 660 livres (la couche qui entre en jeu étant de 2 pieds).

TABLEAU I. — Sols irrigués où les plantes agricoles se refusent à croître.

(Forages n° 3 et n° 4*a*; comparez avec les diagrammes et les séries d'analyses ayant servi à les dresser.)

Teneur en livres à l'acre.

	TOTAL des sels solubles.	SULFATES.	CARBONATES.	CHLORURES.	NITRATES.
N° 3. Échantillonné en mai 1895.					
1er pied	19 800	6 840	9 930	2 490	500
2e pied	9 500	1 830	6 910	410	350
Somme des deux premiers pieds.	29 300	8 670	16 840	2 900	850
3e pied	2 140	450	1 540	150	»
4e pied	1 030	670	230	130	»
Somme des quatre pieds	32 470	9 790	18 610	3 180	850
N° 4a. Échantillonné en septembre 1894.					
1er pied	33 580	18 390	3 760	9 420	2 000
2e pied	10 080	1 640	7 680	360	400
Somme des deux premiers pieds.	43 660	20 030	11 440	9 780	2 400

Sur les 32 470 livres, plus de la moitié (18 610) est du carbonate de soude. Sur les 43 660 livres, un quart seulement est du carbonate, mais le chiffre total (43 660) est tellement élevé, que si même ce n'était que des sels à réaction neutre et qu'il n'y eût pas du tout de carbonate, la salinité de ce sol dépasserait quand même ce que peuvent supporter toutes les plantes agricoles jusqu'à ce jour expérimentées, à part les « salt-bushes ».

En comparant avec ces données celles obtenues pour un sol (nos *2a, b, c*, tableau II) apte à produire de l'orge (en 1895, récolte à raison de 2 tonnes et demie de foin d'orge à l'acre), nous voyons l'un des échantillons (n° 2*a*) accuser 21 200 livres; l'autre, 25 550, plus

TABLEAU II. — Sols salants où les plantes agricoles réussissent.

(Forages nos 2 *a*, 2 *b*, 2 *c*, 4 *b* ; pour leur désignation plus précise, voir les en-têtes des diagrammes ou tableaux concernant les mêmes échantillonnages.)

Teneurs en livres à l'acre.

	TOTAL des sels solubles.	SULFATES.	CARBONATES.	CHLORURES.	NITRATES.

de la moitié étant du carbonate ; ce dernier chiffre se rapporte à un point couvert d'orge haute de 4 pieds ; donc, malgré son importance, il est encore dans les limites de la résistance de l'orge. La *proportion* de carbonate demeurant à peu près la même dans les échantillons 2*a* et 2*b*, le premier pied du 2*b* en a accusé, dans les conditions de l'examen, presque le double en chiffres absolus (c'est que le salant total y est également à peu près double) ; néanmoins, l'orge a, comme on voit, très bien réussi ; la germination s'était faite avec une régularité parfaite. Il est très curieux de faire remarquer qu'un échantillonnage fait en septembre de la même année (voyez 2*c*, tableau II) à quelques pieds seulement de distance des forages 2*a* et 2*b* échantillonnés en mars et mai, ne fournit que le chiffre de 15 310 livres pour le total du salant, la différence portant surtout sur le premier pied ; il est difficile de s'expliquer le fait autrement qu'en admettant qu'une grande partie du salant monté à la surface dans le courant de l'été a été emporté par les vents [1].

Au mois de septembre de l'année d'avant (1894), un forage (4*b*), à 40 pieds de distance du même endroit, fait sur un point où l'orge avait également très bien réussi cette année-là, avait donné, rien que pour les deux premiers pieds, un total de 23 840 livres de salant, dont 20 000 logées dans le premier seul.

Passons aux deux forages (tableau III) pratiqués, l'un en mars, l'autre en septembre, sur un sol non irrigué couvert de la végétation spontanée commune à la région ; le premier accuse pour l'ensemble des 4 pieds un total de 27 030 de sels solubles d'alcalis, avec seulement 230 livres de carbonate de soude dans le premier pied contre 13 590 dans le troisième, au niveau du « hardpan » d'ailleurs non atteint par les racines. « L'autre (septembre) donne un total toujours un peu inférieur à celui du mois de mars, à savoir 25 420 livres seulement, mais cependant sans que la distribution des chiffres révélât d'accumulation dans la couche arable pendant la durée de l'été. »

---

1. Cette hypothèse s'accorde avec ce que j'ai entendu dire au bien connu botaniste, M. le général Korolkov, gouverneur militaire de Tachkent, sur les terrains salants du Turkestan qu'il est à même d'observer depuis de longues années ; il croit fermement au dessalement de terrains salants par le fait du vent. J. V.

TABLEAU III. — Terrain salant non irrigué couvert de la végétation naturelle propre à la région.

Teneur en livres à l'acre.

	TOTAL des sels solubles.	SULFATES.	CARBONATES.	CHLORURES.	NITRATES.
a. *Échantillonné au mois de mars.*					
1er pied	810	370	230	190	20
2e pied	4 660	730	4 140	190	»
3e pied	17 080	2 450	13 590	1 040	»
4e pied	4 680	620	4 040	20	»
Somme des quatre pieds	27 030	4 170	22 000	1 440	20
b. *Même terrain, échantillonné au mois de septembre.*					
1er pied	860	520	270	20	50
2e pied	6 160	1 060	5 000	200	»
3e pied	15 930	2 340	11 920	630	»
4e pied	2 470	460	1 870	140	»
Somme des quatre pieds	25 420	4 380	19 060	990	50

Une comparaison avec le tableau II enseigne que la parcelle du tableau III pourrait produire de l'orge aussi bien que le font les sols du tableau II, pourvu que, toutefois, la proportion de carbonate, beaucoup plus considérable dans le cas du tableau III, fût réduite au taux de ce qu'offrent les sols du tableau II, chose facile à réaliser au moyen du plâtrage.

Il résulte de ces faits que, *pour l'orge*, toutes conditions étant favorables d'ailleurs, et le salant ne contenant pas plus de la moitié en carbonate de soude, la *limite de tolérance* compatible avec une entière récolte de foin est quelque part entre 25 500 et 32 000 livres de sels solubles d'alcalis à l'acre dans les quatre premiers pieds ; ces chiffres ne valant toujours qu'autant que cette couche de quatre pieds contient tout le salant susceptible d'arriver à portée de la surface. Exactement, le plus imprégné des sols des tableaux précités où

l'orge a encore parfaitement réussi, accuse 25 550 livres (tableau II, n° 2*b*), le moins imprégné de ceux où elle n'a plus voulu pousser — 32 470 (tableau I, n° 3).

Si on voulait traduire ces quantités en tant pour cent, on aurait $\frac{25\,550}{16\,003\,000} \times 100$ et $\frac{32\,470}{16\,003\,000} \times 100$, ce qui fait 0.159 p. 100 et 0.203 p. 100.

Cette manière d'aborder le problème paraît pouvoir énormément simplifier la taxation de tout terrain salant en vue d'un avis à donner sur la réalisabilité et la méthode d'un amendement : il suffirait d'extraire une colonne de sol profonde de 4 pieds, par exemple, et d'en faire une seule analyse (et non plus 16) quant à la teneur totale en salant et à la composition de celui-ci ; si la richesse moyenne en salant total ne dépasse pas de beaucoup 0.175 p. 100 et la richesse du salant en carbonate 50 p. 100, on sera autorisé à déclarer le sol susceptible d'être amendé, du moins pour l'orge, simplement par le plâtrage et par une culture profonde et parfaite ; tout terrain qui aurait donné, dans les mêmes conditions d'examen et de calcul, des chiffres essentiellement inférieurs à 0.175 p. 100 de salant total et à 50 p. 100 de carbonate, devrait pouvoir être mis en culture, sans aucune crainte, même s'il était couvert d'une végétation naturelle d'*alkali grass* (*Distichlis maritima,* plante halophyte).

Il n'y a pas de doute que pour les cultures autres que l'orge, les limites de la tolérance sont notablement différentes et qu'il les faut rechercher exprès pour chacune.

On trouvera plus loin un tableau (tableau IV) résumant *quelques notions sur les limites de la résistance des cultures au salant* obtenues antérieurement à la méthode des forages à 4 pieds de profondeur, au cours d'efforts plutôt inefficaces qui tendaient à résoudre le problème par l'analyse de la seule couche supérieure épaisse de 1 pied.

On voit par ce tableau (IV) qu'un sol qui a fourni une belle récolte d'orge contenait en mars, dans le premier pied, 0.185 p. 100 de salant dont presque 7/9es en carbonate de sodium ; en août de la même année, l'orge ayant été enlevée en mai et le sol, depuis, laissé dénudé, il a été trouvé 0.305 p. 100 de salant complètement libre de carbonate (voyez ce qui a été dit plus haut sur le passage de sulfates en carbonates et *vice versa*).

TABLEAU IV. — Résistance au salant.

SOLS SALANTS. Échantillons comprenant le 1er pied, excepté les deux derniers qui ne comprennent que la croûte.	DATE du prélèvement de l'échantillon.	POUR 100 DU SOL.					COMPOSITION CENTÉSIMALE DU SALANT.				LIVRES A L'ACRE.				
		Total des sels solubles d'alcalis.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Sulfates d'alcalis.	Carbonate de sodium.	Chlorure de sodium.	Nitrate de sodium.	Total des sels solubles d'alcalis	Sulfates.	Carbonates.	Chlorures.	Nitrates.
Orge haute de 2 pieds. Pas d'efflorescences.	Mars 1894. .	.185	.040	.136	.005	.003	21.7	73.9	2.7	1.7	7 400	1 600	5 440	200	120
Orge haute de 4 pieds. Pas d'efflorescences.	Août 1894. .	.305	.188	»	.061	.053	61.6	»	20.9	17.5	12 200	7 520	»	2 560	2 120
Orge. Efflorescences viennent d'apparaître.	Mars 1894. .	.501	.251	.170	.051	.023	50.7	33.9	10.7	4.7	20 040	10 160	6 800	2 160	920
Orge vit. Efflorescences viennent d'apparaître	Mars 1894. .	.379	.169	.170	.037	.003	44.5	44.8	9.8	0.9	15 160	6 760	6 800	1 480	120
Orge. Fortes efflorescences	Mars 1894. .	.512	.262	.179	.063	.008	51.1	34.9	12.3	1.7	20 480	10 480	7 160	2 520	320
Orge tuée par le salant	Août 1894. .	1.810	.762	.509	.485	.054	42.1	28.1	26.8	3.0	72 400	30 480	20 360	19 400	2 160
Poiriers tués par le salant	Août 1894. .	1.570	.795	.115	.460	.200	50.6	7.3	29.3	12.8	62 800	31 800	4 600	18 400	8 000
Le salt-bush ayant levé de graines sans difficulté.		.325	.126	.127	.067	.005	38.8	39.0	20.6	1.6	13 000	5 040	5 080	2 680	200
Le salt-bush languit autant que jeune . . .	»	.773	.259	.233	.280	.001	33.5	30.1	36.2	0.2	30 920	10 360	9 320	11 200	40
Croûtes salées.															
Le salt-bush vivote à peine	»	7.960	4.280	1.820	1.680	.180	53.8	22.9	21.1	2.2	»	»	»	»	»
Le salt-bush est mort.	»	25.702	15.447	3.774	6.078	.403	60.1	14.7	23.6	1.6	»	»	»	»	»

Pas loin de là, en un endroit où l'orge était bien vivante mais moins prospère, il y a eu, dans le premier pied, en mars, de 0.4 p. 100 à 0.5 p. 100 de salant.

En un autre endroit où l'orge dépérissait, il a été trouvé en août, dans le 1er pied, l'énorme dosage de 1.81 p. 100 de salant total, ce qui fait, pour ce 1er pied seulement, 72 000 livres à l'acre, sur lesquelles il y avait 20 000 livres de carbonate de sodium. La même année (1894), des poiriers âgés de plusieurs années moururent dans un sol qui accusa, dans le 1er pied, un peu plus de 1.5 p. 100 de salant total, soit 63 000 livres à l'acre, dont en chiffres ronds 32 000 de sulfate de sodium, 18 400 de sel marin, *8 000* (= *4 tonnes*) *de nitrate de soude valant au prix du jour 200 dollars,* enfin 2 tonnes et demie seulement de carbonate de soude.

« Nous nous proposons », ajoutent MM. Hilgard et Loughridge, « de faire l'année prochaine aux mêmes endroits des forages de 4 pieds ; il est probable que le total du salant dans les 4 pieds atteindra 100 000 livres. Il est douteux qu'un sol aussi imprégné de sels puisse servir à quelque chose, à moins de lui enlever une grande partie du salant au moyen de drains. »

Le même tableau donne quelques renseignements généraux sur la résistance de l'*Atriplex semibaccatum*[1], toujours basés sur l'analyse du premier pied seulement. Les auteurs y joignent les remarques suivantes :

« On observera que ce salt-bush s'est développé aisément de semis sur des sols qui ont accusé dans le premier pied 1/3 p. 100 de salant ; qu'il a langui, sans toutefois périr, sur des parcelles où il en a été trouvé, dans les mêmes conditions de calcul, 1/2 p. 100, taux équivalant à 31 000 livres par acre pour ce premier pied ; il a eu beaucoup de peine à garder un peu de vie dans un sol qui, dans notre tableau, est caractérisé par l'analyse de la croûte (efflorescence, y compris environ 1/2 pouce de sol immédiatement attenant); dans

1. Un « salt-bush » d'Australie dont la culture en tant que fourrage paraît prendre en Californie une certaine importance ; d'après une lettre de M. Hilgard, datée de décembre 1895, il y en aurait eu en culture 4 000 acres. Pour les salt-bushes en général, voyez *Mémoires de la Société nationale d'agriculture de France,* 1892, et communications postérieures dans le *Bulletin* de la même société.

cette « croûte » il a été trouvé 8 p. 100 de salant au total, dont la moitié en sulfate de soude, le reste étant constitué presque à parties égales par du carbonate et du sel marin ; il a péri enfin dans un cas où le premier demi-pouce accusait 24 p. 100 de salant, dont 0.6 de sulfate de soude et 0.15 de carbonate de soude. »

Dans une lettre, postérieure à ces lignes et datée de juin 1896, M. Hilgard dit : « Nous n'avons pas réussi à faire vivre notre salt-bush là où le sol contient près de 75 000 livres de salant par acre » (dans les 4 pieds ?).

Pendant que nous sommes au chapitre de la résistance au salant, je me permettrai de reproduire quelques passages relatifs à ce sujet et que j'emprunte à des lettres postérieures au « Rapport pour l'exercice 1894-1895 » :

« Nous avons dressé une carte du salant pour l'un des terrains de notre station (Chino) en divisant la superficie en carrés de 50 pieds et en analysant à part chaque carré.

« Sur ce terrain qui accuse environ 15 000 livres de salant par acre (pour 4 pieds), nous avons récolté des *betteraves* à sucre de la plus haute qualité ; depuis, nous y avons planté, à titre d'expérience, un grand nombre de plantes différentes ; il se trouve que déjà cette petite quantité (dont l'orge sait supporter le double) entrave le développement de presque toutes les *légumineuses*, tandis que les *composées* y prospèrent, entre autres le *grand soleil* de Russie (*Helianthus annuus*). Parmi les légumineuses, seules la *vesce velue* et la *luzerne* réussissent un peu et encore sans arriver à former les tubercules assimilateurs ; il faut bien dire qu'ils y seraient bien superflus, le terrain renfermant, par acre, près de 1 000 livres de salpêtre ; n'importe, les plantes ont mauvaise mine (juin 1896).

« ... Depuis ma dernière lettre, nos cultures du champ d'expérience de Chino ont révélé quelques faits intéressants. D'abord, d'accord avec vos observations, il y a deux espèces de *mélilot* qui prospèrent et possèdent quelques tubercules, mais seulement sur celles des racines qui sont assez éloignées de la surface du sol et où, par conséquent, le salant n'est plus qu'extrêmement faible. La même remarque s'applique à la *vesce velue* ; presque toutes les autres légumineuses, y compris les *lupins* (d'Europe et indigènes), sont mortes

ou près de mourir (nous n'avons pas encore expérimenté le *Trifolium fragiferum* des terrains salants d'Europe sur lequel vous avez attiré notre attention). Après la *betterave,* le *grand soleil* continue à être le meilleur succès sur toute l'étendue du champ. Je pense que le *topinambour* (*Helianthus tuberosus*) pourra aussi être cultivé sur des salants déjà assez joliment concentrés.

« Je viens de recevoir un *Bulletin de la Station agronomique du Wyoming* sur des expériences de germination en terrains salants ne contenant presque que des sulfates ; elle se trouve extrêmement lente ; d'ailleurs, le ralentissement est en raison directe du degré de salinité ; 1 p. 100 dans les deux premiers pouces paraît être le maximum compatible avec le développement normal du seigle que ces Messieurs trouvent être la plus résistante des céréales de leur climat. La lenteur de la germination est due au ralentissement de l'imbibition (gonflement) de la graine, fait bien connu des fermiers californiens... »

Nous allons terminer par quelques extraits de la correspondance du laboratoire de Berkeley pour l'exercice 1894-1895, intéressants en tant qu'il y est question de types de salants plus ou moins nouveaux (du moins, non spécifiés dans le travail publié dans les *Annales de la science agronomique française et étrangère* en 1893) ou en tant qu'exemples d'appréciation et d'interprétation :

« 1. Croûte salée, deux échantillons provenant l'un de la *Southern-California Experiment-Station* (succursale de la station de Berkeley) près Chino, l'autre de « Chino Ranch », ferme (sucrerie) de M. Gird, également près Chino ; une analyse de croûte de cette dernière provenance nous est en même temps communiquée, qui a été faite par le chimiste de la sucrerie.

TABLEAU.

Croûtes salées de Chino (Californie).

PRINCIPES MINÉRAUX des sols.	N° 1. Échantillon provenant du champ d'expériences.	N° 2. Échantillon provenant de la propriété de M. Gird.	N° 3. Analyse d'un échantillon de même provenance que le N° 2, mais faite par le chimiste de la sucrerie.
Sulfate de potasse[1]	3.97	2.56	40.10
Sulfate de soude	49.58	80.41	27.92
Carbonate de soude	»	4.50	»
Sel marin	15.61	3.76	7.49
Nitrate de magnésie[2]	11.63	1.29	»
Sulfate de magnésie	10.66	0.23	3.21
Sulfate de chaux	1.94	»	»
Matières organiques et eau de combinaison par différence	6.61	7.25	»
Matière organique	»	»	3.34
Non déterminées	»	»	17.94
Somme	100.00	100.00	100.00
1. Livres à l'acre (premier pied)	444	218	»
2. Équivaut, à l'acre (premier pied) à salpêtre de Chili, livres	1 500	131	»

« Il n'est pas facile de concilier les deux analyses n° 2 et n° 3 se rapportant à la ferme de Chino ; on nous affirme que les deux échantillons qui y ont servi ont été prélevés sur un seul et même endroit. Les différences entre l'échantillon n° 1 de la station et l'échantillon n° 2 de la sucrerie, qui portent principalement sur le sulfate de soude, les nitrates, le sulfate de magnésie, sont, au contraire, parfaitement plausibles, puisque les deux terrains sont à quelque distance l'un de l'autre ; or, des différences de cette valeur peuvent être observées même sur une seule et même tâche de salant, comme en font preuve les investigations de M. Colemore publiées dans le « Report » de la station de Berkeley pour l'exercice 1894, p. 141.

« Le taux de sulfate de potasse trouvé dans le salant de Chino par le chimiste de la sucrerie (n° 3) est extrêmement élevé ; jamais nous n'en avons encore rencontré de pareil ; quant à l'analyse du labora-

toire de Berkeley (n° 2), elle répond à un type bien commun de « salant blanc », autant pour le sulfate de potasse que pour les nitrates. Pour ce qui est de ces derniers, on remarquera que l'échantillon de la station agronomique de Chino en contient à peu près dix fois autant que celui du Chino Ranch ; or, il se trouve justement que sur l'endroit d'où provient le premier échantillon, la betterave était la plus petite et la moins satisfaisante de tout le champ, tandis que sur la tâche où a été prélevé l'échantillon de Chino Ranch la betterave était de belle taille et riche en sucre.

« Calculés en livres à l'acre, pour une couche arable de 1 pied de profondeur, les dosages de potasse et de nitrate constatés par nous dans la croûte saline de Chino Ranch reviennent à peu près à la charge d'engrais artificiel que l'on a l'habitude d'appliquer à la betterave à sucre en Allemagne ; par contre, avec le même calcul, pour le sol de la station de Chino on trouve un fort excès de nitrates sur les doses habituelles d'engrais.....

« 2. Terrain salant provenant d'une propriété sise sur la Mojave River, San Bernadino County ; envoi de M. B. F. Taylor, de Rialto. Échantillon pris jusqu'à une profondeur de 16 pieds ; sol léger (*silt*) ; réaction alcaline. Le délavage d'une portion de cet échantillon fournit le résultat suivant :

	DANS 100 grammes de sol.	COMPOSITION centésimale du salant.
Sulfates de soude et de potasse.	0.110	11.11
Carbonate de soude	0.270	27.27
Sel marin	0.610	61.62
Total	0.990	100.00

« Conformément à la loi générale de la distribution verticale du salant, la couche toute superficielle de ce sol devrait en contenir 5 ou 6 p. 100 du poids du sol ; c'est plus que n'en saurait supporter aucune plante agricole (excepté un salt-bush), à moins que le salant, actuellement « noir », ne soit converti en « blanc » par le plâtrage.

« 3. Efflorescence provenant de l'Oregon ; envoi de M. P. M. Scott, de San-Francisco. La matière, par sa richesse en carbonate de soude

(63 p. 100 du total des sels solubles), est comparable à la soude naturelle ramassée dans un but industriel sur les terrains salants de la Hongrie, du Caucase, de l'Arabie, de l'Inde, de l'Égypte, du Fezzan, de l'Australie (voyez le travail, maintes fois mentionné au cours de cet article, publié dans les *Annales* en 1893, chapitre VI, division E); elle présente encore ceci de remarquable qu'elle contient près de 40 p. 100 de carbonate de chaux insoluble.

« 4. Efflorescence et eau souterraine ; envoi de M. J. Warren Dutton, Dutton' s Landing. L'efflorescence se forme en été sur les parties basses du terrain ; l'eau provient du même endroit. » Ce que j'y trouve de digne d'attention est que l'efflorescence neutre étant « du sulfate de magnésie presque pur, avec un peu de gypse », l'eau, très salée, accuse à la fois « un peu de carbonate de soude ».

« 5. Produits de délavage d'échantillons du sol et du sous-sol d'un terrain sis dans la propriété de M. H. A. P. Carter, Byron, Contra Costa County ; le sol étant prélevé jusqu'à une profondeur de 12 pouces, le sous-sol étant pris à 5 pieds au dessous de la surface.

Question posée par l'envoyeur : « La luzerne réussira-t-elle dans ce terrain ? »

SELS SOLUBLES.	DANS 100 PARTIES DU sol.	DANS 100 PARTIES DU sous-sol.
Sulfate de potasse	0.116	0.005
Sulfate de soude	0.109	0.095
Sel marin	0.064	0.032
Carbonate de soude	0.026	0.015
Total	0.315	0.147

Nous sommes ici tout près de la limite au delà de laquelle, sur un sol de la nature de celui dont il s'agit, on ne peut espérer avoir des récoltes. Si on se bornait à l'appréciation du sol, on pourrait dire que la luzerne devrait y être cultivable, car elle a été cultivée avec succès sur des sols aussi lourds et même plus imprégnés de salant que n'est celui-ci. Mais la difficulté viendra du sous-sol que le pivot, lorsqu'il l'aura atteint, ne pourra jamais pénétrer, du moins autant que le carbonate n'aura pas été converti en sulfate ; il suffit de dire

que lorsque nous tentâmes de le délaver, bientôt, en dépit de toutes les précautions que nous avions prises, il se balla en une pâte presque imperméable qu'il nous a fallu soumettre au lavage pendant 10 jours pour obtenir un extrait suffisant pour l'analyse. Il est tout indiqué de plâtrer ce terrain, ce qui neutralisera le « salant noir » et, partant, enlèvera à l'argile cette propriété de se coaguler. »

DE LA

VALEUR AGRICOLE

DES SCORIES DE DÉPHOSPHORATION[1]

PAR

L. GRANDEAU

L'introduction dans la pratique agricole d'une nouvelle matière fertilisante, alors surtout que cette matière présente une constitution complexe, a toujours pour résultat de soulever un certain nombre de questions imprévues. Leur solution exige le double concours de recherches physiologiques et d'expériences culturales poursuivies pendant assez longtemps pour permettre des déductions dont les cultivateurs puissent faire leur profit.

1. Les lecteurs des *Annales* trouveront plus loin l'étude de MM. Petermann et Graftiau sur la question encore controversée de la relation qui existerait entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque acide et le poids de la récolte produite. Pendant que MM. Petermann et Graftiau poursuivaient leurs expériences dans la serre de végétation de la Station de Gembloux dans des conditions dont ils étaient à peu près maîtres, ce qui donne un grand intérêt aux résultats, de mon côté j'entreprenais, au parc des Princes, des expériences en plein champ sur le même sujet. En Autriche, sous la direction de M. Meissl, directeur de la Station agronomique de Vienne, de nombreux essais étaient faits chez les cultivateurs en vue d'étudier l'action comparative des scories à divers titres de solubilité. Il m'a paru intéressant de faire précéder la publication du mémoire de MM. Petermann et Graftiau d'un exposé rapide des résultats obtenus en Autriche et en France, en l'accompagnant de quelques considérations générales sur cette importante question.

L'application à la fumure des terres des laitiers phosphoreux, obtenus dans la transformation de la fonte en acier, par le procédé Thomas Gilchrist, devait tout naturellement provoquer l'examen de divers points importants relatifs aux conditions d'assimilation du phosphore par les plantes.

Les scories de déphosphoration, dont l'introduction dans la pratique agricole remonte à peine à une douzaine d'années, se sont montrées, dès le début, un engrais phosphaté de premier ordre, applicable, dans les sols de compositions les plus diverses, à toutes les natures de récoltes, autant pour les cultures d'hiver que pour les cultures de printemps et aussi profitables aux prairies naturelles et artificielles qu'aux céréales, aux plantes sarclées et à la végétation arbustive, vigne, fruitiers, etc... Au fur et à mesure de la constatation de ces faits, la consommation des scories est allée en croissant ; elle s'élève annuellement en Europe à plus d'un million de tonnes. Après avoir été, en partie, exportée à l'étranger pendant sept ou huit ans, la production des aciéries françaises, qui dépasse aujourd'hui 150 000 tonnes, a été entièrement utilisée, cette année, par nos agriculteurs, ce dont on ne saurait trop s'applaudir, étant donnée la pauvreté générale de notre sol en acide phosphorique.

S'ajoutant aux 800 000 tonnes de superphosphate que consomme la culture française, l'appoint des scories porte à peine à 150 000 tonnes, soit à moins de 6 kilogr. par hectare, la quantité d'acide phosphorique que reçoivent nos vingt-cinq millions d'hectares sous culture.

On voit, par le rapprochement de ces deux chiffres, quel développement attend l'industrie des engrais phosphatés, superphosphates, scories, etc., le jour où la masse de nos cultivateurs sera pénétrée de l'insuffisance des quantités qu'elle emploie aujourd'hui et des augmentations de rendement qui suivront parallèlemeni leur développement.

J'ai dit tout à l'heure que l'un des caractères essentiels des scories de déphosphoration est de donner dans tous les sols, en toute saison et pour toutes les cultures, des résultats excellents, égaux dans les sols calcaires à ceux que fournit le superphosphate, supérieurs en général dans les terrains argileux et silicéo-argileux. Je

suis autorisé à émettre cette assertion, tant par mes essais dans divers champs d'expériences, que par les résultats obtenus dans un domaine de 400 hectares situé en Lorraine, où j'ai employé depuis dix ans plus de 300 tonnes de scories. Comment s'explique l'universalité des bons effets des scories dans les sols de composition le plus variable ? C'est ce qu'il n'est peut-être pas inutile de rappeler. Les scories sont essentiellement constituées, comme on le sait, par un composé résultant de la combinaison d'acide phosphorique, de silice et de chaux qui les différencie des phosphates minéraux naturels. Ce composé présente cette particularité que son acide phosphorique est soluble à froid dans de l'eau contenant une faible proportion d'un des acides organiques (citrique, etc.) existant dans le suc des racines des végétaux. C'est donc un aliment tout préparé pour la plante et qui n'a pas besoin de subir dans le sol des transformations qui le rendent apte à être assimilé par le végétal. Il se comporte, à cet effet, comme le nitrate de soude qui fournit directement à nos récoltes, céréales, plantes sarclées, etc., l'azote dont elles ont besoin, tandis que les matières organiques azotées (fumier de ferme, par exemple) doivent être préalablement nitrifiées pour servir à la nutrition des plantes.

Du degré de finesse auquel les scories ont été amenées par la mouture dépend, au premier chef, l'action dissolvante qu'une liqueur faiblement acide exercera sur leur acide phosphorique ou, pour mieux dire, la quantité de ce dernier qui se dissoudra, par rapport au poids d'acide phosphorique total que contient la scorie. L'influence de la finesse du grain est donc, toutes choses égales d'ailleurs — tout le monde est d'accord sur ce point, — un élément essentiel de la valeur fertilisante *immédiate* des scories. Les produits livrés actuellement à l'agriculture renferment de 75 à 85 p. 100, et même davantage, de poudre fine passant au tamis dont l'écartement des mailles est de $0^{mm},17$ et qu'on désigne, dans l'industrie, sous le nom de tamis n° 100.

C'est à dessein que je viens d'employer l'expression de valeur fertilisante immédiate, parce qu'au bout d'un certain temps la totalité de l'acide phosphorique sera utilisable pour la récolte ; en effet, la masse entière de la scorie étant homogène, les grains trop volumi-

neux pour passer au tamis n° 100 possèdent la même composition que la poudre fine. Or, au contact de l'humidité et de l'acide carbonique du sol, ces grains se désagrègent et se transforment en poudre impalpable dans un temps variable avec les conditions qu'ils rencontrent dans la terre. Il s'ensuit que, selon toute vraisemblance, ils posséderont plus ou moins vite la même solubilité, dans les acides faibles, que la poudre passant au tamis n° 100. Les faits constatés dans nos laboratoires tendent à démontrer le bien-fondé de cette manière de voir. Un traitement réitéré par l'acide citrique des diverses parties d'un échantillon de scories, amenées par des pulvérisations successives à une égale finesse, permet de faire entrer en dissolution la totalité de l'acide phosphorique de cette scorie. On est donc autorisé à admettre que le délitement progressif, dans le sol, des grains de différentes grosseurs produira le même résultat. Ce qui importe, c'est de vérifier expérimentalement, par des cultures méthodiques, comment les choses se passent dans nos champs.

Tous nos lecteurs connaissent les expériences de P. Wagner et de Mærcker, sur la relation qui existe entre la solubilité des scories dans le citrate acide d'ammoniaque et leur action sur la végétation. Les directeurs des stations agronomiques de Darmstadt et de Halle étaient arrivés à conclure à un certain parallélisme entre la solubilité au citrate et la valeur fertilisante des scories. De là à adopter, pour base des contrats de vente des scories, la teneur de ces dernières en acide phosphorique soluble dans le réactif de Wagner, il n'y avait qu'un pas ; on a essayé de le franchir, et un certain nombre de marchés ont été conclus, en Allemagne notamment, d'après cette donnée analytique.

En France, en Belgique et en Autriche, ce mode de vente a été combattu par les directeurs des stations agronomiques, non que nous le considérions comme mauvais en principe, mais, ainsi que nous l'avons dit, M. Petermann et moi, comme prématuré, la question n'étant pas suffisamment étudiée, ni sous le rapport cultural, ni sous le rapport analytique. M. P. Wagner lui-même, avant de devenir partisan enthousiaste de cette réforme dans les conventions du commerce, s'était prononcé à son sujet dans des termes que nous consi-

dérions alors et que nous considérons encore aujourd'hui comme l'expression de la vérité. Il écrivait en 1894 : « Je ne recommande nullement d'acheter les scories exclusivement d'après leur titre en acide phosphorique soluble dans le citrate. Cela serait un mode inexact et inapplicable. Inapplicable, parce que la méthode ne possède pas le degré de précision que les intéressés ont le droit d'exiger. Inexact, parce que la solubilité citrique d'une scorie n'est pas une expression nette et absolue de son effet, mais seulement une base approximative pour juger de sa valeur agricole. » Cette manière de voir est tout aussi juste aujourd'hui qu'il y a quatre ans, et les transactions doivent continuer à être, comme elles l'ont été jusqu'ici presque universellement, basées : 1° sur la teneur de la scorie en acide phosphorique total ; 2° sur son degré de finesse. Rien ne s'oppose à ce que le vendeur indique la teneur de la scorie en acide soluble dans le citrate, ainsi que beaucoup d'aciéries le font, mais seulement à titre de renseignement utile et sans la prendre pour base de la fixation des prix.

Les raisons sur lesquelles nous nous appuyions, il y a quatre ans, pour combattre l'adoption de la vente des scories sur la base de leur teneur en acide soluble au citrate, ont reçu une nouvelle consécration des expériences faites, dans l'année qui vient de finir, à la Station agronomique de Gembloux par MM. Petermann et Graftiau ; en Autriche, sous la direction de M. Meissl, enfin au champ d'expériences du parc des Princes. Je résumerai brièvement les résultats de ces divers essais qui montrent à quelles incertitudes et à quels dommages on exposerait les producteurs et les consommateurs de scories, en modifiant prématurément les règles actuellement appliquées aux transactions.

MM. Petermann et Graftiau ont répété, en 1897, les essais de culture faits en 1896 dans la serre expérimentale de Gembloux[1]. Une terre pauvre en acide phosphorique a reçu, dans divers vases, des quantités égales de ce principe fertilisant, sous forme de scories à teneurs très différentes en acide soluble dans le citrate, 37.6 p. 100 à 93.4 p. 100.

---

1. Voir, page 445, le mémoire de MM. Petermann et Graftiau.

Les plantes mises successivement en expérience dans chacun de ces vases ont été : l'avoine, la moutarde blanche et le froment.

Les conclusions qui se dégagent de la pesée des récoltes et de leur analyse, au point de vue de la quantité d'acide phosphorique utilisée par les plantes poussées dans la terre additionnée de scories à teneurs si différentes en acide phosphorique, sont les suivantes — je cite textuellement :

« S'il est vrai, d'une part, que le maximum d'avoine a été produit par la scorie la plus soluble dans le réactif Wagner (93 p. 100), il est à constater, d'autre part : 1° que la supériorité ne s'est manifestée ni dans la récolte de moutarde qui suivait, ni dans la seconde série d'essais avec le froment ; 2° que le minimum d'avoine et le minimum de froment ont été obtenus par des scories à solubilité élevée (88 et 76 p. 100), et 3° que, de l'ensemble de tous les résultats, ne ressort aucun rapport bien défini entre la cause et l'effet. Quant à l'acide phosphorique absorbé par la plante entière de froment, il est à remarquer que l'utilisation de l'acide phosphorique donné comme engrais n'a pas dépendu de la solubilité citrique du phosphate employé. En effet, avec le phosphate à 93 p. 100 de solubilité, l'utilisation par la plante a été de 30.8 p. 100 ; avec une scorie à 37.6 p. 100 seulement, la plante a absorbé 28.2 p. 100 d'acide phosphorique et ainsi de suite... Nous sommes donc d'avis, concluent MM. Petermann et Graftiau, que la solubilité citrique de l'acide phosphorique de la scorie, constitue une base d'estimation de la valeur commerciale qui est loin d'être en rapport avec l'effet produit par ce précieux engrais phosphaté. Cette base est donc *arbitraire* et, par conséquent, l'acheteur, en attendant mieux, doit continuer à exiger la garantie du titre en acide phosphorique total et celle d'une finesse de mouture suffisante. »

Il ne s'agissait à Gembloux — comme dans les recherches antérieures de MM. Wagner et Mærcker — que d'essais physiologiques faits dans des pots, sur de faibles quantités de terre. Nous allons voir que les nombreuses expériences exécutées en plein champ, l'an dernier, sur des parcelles plus ou moins étendues, ont conduit à des conclusions tout aussi favorables au maintien du mode actuel de vente des scories.

Le congrès annuel des directeurs des stations agronomiques autrichiennes avait mis la question à l'ordre du jour des travaux de ces établissements ; M. Meissl a rendu compte, en ces termes, dans la réunion d'avril 1897, des résultats constatés[1] :

Une série considérable d'expériences de fumure a été instituée à l'automne de 1895, avec le concours de praticiens, dans cinquante localités réparties dans presque toutes les provinces de l'empire. 162 parcelles ont été consacrées à ces essais qui ont été continués en 1896. Ces essais de culture avaient pour objet principal l'étude sur le terrain de la question, si importante pour la pratique, de l'action comparative de l'acide phosphorique des scories, soluble ou non dans le citrate acide. Dans un certain nombre de champs, on a, en outre, expérimenté, par comparaison, la valeur de la poudre d'os dégélatinée.

Toutes les parcelles ont reçu, en quantités égales, une fumure fondamentale composée de sulfate d'ammoniaque et de chlorure de potassium. Puis, on a répandu dans les trois parcelles devant servir de termes de comparaison une quantité d'acide phosphorique égale (120 kilogr. par hectare) fournie, pour la première parcelle, par une scorie à haut titre en acide soluble, 93.3 p. 100 ; pour la seconde, par une scorie à titre faible (50.6 p. 100) en soluble ; pour la troisième, par de la poudre d'os dégélatinée à 71.2 p. 100 d'acide soluble. Les résultats connus au mois d'avril dernier n'étaient encore qu'au nombre de 30. Sur ce nombre, un peu plus de moitié (17 sur 30) accusaient une plus-value en faveur des scories à haut titre de soluble, mais les excédents de récoltes étaient très peu élevés, de telle sorte que la moyenne générale des trente champs d'expérience s'en trouve à peine affectée, ainsi que le montre le tableau suivant, qui résume tous les essais.

Si l'on prend, pour termes de comparaison : la production totale, le rendement en grains et en paille de la parcelle témoin non fumée, de chaque localité, et qu'on l'égale à 100, voici les résultats

---

1. *Protokoll über die am 1. 2. und 3. April 1897 der Versammlung der Vertreter österreichischer Versuchs-Stationen.* Wien, 1897.

fournis par la moyenne des récoltes des trois parcelles en expérience :

	RÉCOLTE totale.	RENDEMENT en grains.	RENDEMENT en paille.
	—	—	—
Scories à 93 p. 100 de soluble . . .	119	128	120
Scories à 50 p. 100 de soluble . . .	121	126	121
Poudre d'os dégélatinée	118	122	117

Les résultats de ces essais de culture, ajoute M. Meissl, sont particulièrement intéressants dans deux directions. D'abord en ce que les expériences faites en plein champ confirment l'assertion que la solubilité de l'acide phosphorique des scories dans le réactif de Wagner est un étalon infidèle de la valeur agricole de cet engrais ; en second lieu, ces expériences infirment l'opinion émise relativement au peu de valeur fertilisante de la poudre d'os dégélatinée.

Au printemps de 1897, j'ai institué au parc des Princes des expériences qui devront être poursuivies pendant plusieurs années avant que j'en tire des conclusions fermes. Mais la question étant à l'ordre du jour, dans la pensée de provoquer sur d'autres points du pays des essais du même genre, je vais indiquer les conditions dans lesquelles je me suis placé et les résultats de ma première année d'expériences, qui prouvent combien il est prudent d'attendre avant de modifier le régime d'achat des scories.

La parcelle XIX du champ du parc des Princes a été consacrée à des essais comparatifs de scories de finesse égale, mais de titres très diffférents en acide phosphorique total et en acide phosphorique soluble. Cette parcelle n'avait pas reçu de fumure phosphatée depuis six ans. En 1896, on ne lui avait donné aucun engrais ; elle se trouvait donc dans des conditions favorables à l'étude de l'influence de l'acide phosphorique sur la récolte.

Dans les derniers jours d'avril 1897, on a délimité, dans la grande parcelle XIX, quatre parcelles de superficie égale. Nous les désignerons pour simplification par les lettres A, B, C, D. Chacune d'elles a reçu, avant le labour, les quantités suivantes, rapportées à l'hectare, d'acide phosphorique, d'azote et de potasse :

Acide phosphorique.	150 kilogr.
Potasse[1]	200 —
Azote[2].	45 —

1. Sous forme de kaïnite.

2. A l'état de nitrate de soude.

Les scories qui ont servi à donner l'acide phosphorique à ces quatre parcelles ont été choisies, à dessein, de teneurs très différentes en acide soluble au citrate ; le tableau ci-dessous indique la richesse centésimale en acide phosphorique total et la teneur en acide soluble au citrate ; la troisième colonne fait connaître la proportion centésimale d'acide soluble rapportée au taux d'acide total.

	ACIDE PHOSPHORIQUE total.	ACIDE PHOSPHORIQUE soluble au citrate.	RAPPORT de l'acide soluble à l'acide total.
	— p. 100	— p. 100	— p. 100
Parcelle A	21.12	7.93	37.5
— B	13.44	7.55	56.17
— C	18.69	12.41	66.39
— D	18.30	16.51	90.20

On a choisi, pour la plantation de ces parcelles, trois plantes appartenant à des familles végétales différentes : une graminée, maïs-caragua ; une légumineuse, haricots d'Alger ; une solanée, une pomme de terre (prince-de-Galles). Un tiers de chaque parcelle a été consacré à chacune de ces plantes. Le principe essentiel à tout essai de ce genre, à savoir qu'il ne faut faire varier qu'une seule des conditions de l'expérience, a été appliqué. Chacune des parcelles ayant reçu même quantité d'acide phosphorique total, d'azote et de potasse, la seule condition variable a été la proportion d'acide phosphorique soluble apporté pas la scorie. L'écart entre les teneurs extrêmes des scories et ce composé était très grand : 52.71 p. 100 [90.2 p. 100 — 37.5 p. 100] ; on pouvait donc s'attendre, si la relation établie par MM. Wagner et Mærcker entre la solubilité et l'assimilabilité du phosphate est réelle, à trouver des différences considérables dans les récoltes des trois plantes.

Je réunis, dans le tableau ci-dessous, les résultats des pesées faites immédiatement après l'enlèvement de la récolte de chaque plante (les récoltes sont calculées à l'are).

PARCELLES.	HARICOTS.	POMMES de terre.	MAÏS-fourrage.
— p. 100	— kilogr.	— kilogr.	— kilogr.
A . . . . . 37.05 soluble.	70,0	158,2	514
B . . . . . 56.17 —	68,4	184,3	555
C . . . . . 66.39 —	65,6	203,6	647
D . . . . . 90.20 —	104,2	246,3	672
Témoins sans engrais.	27,8	78,3	361

Le premier fait qui ressort de la comparaison de ces chiffres, c'est la diversité des écarts que présentent les poids des récoltes suivant la nature de la plante cultivée. Examinons-les rapidement. *Haricots :* la parcelle A a fourni, malgré le titre peu élevé de la scorie en soluble, une récolte supérieure à celles de chacune des parcelles B et C ; l'influence du taux d'acide soluble ne s'est manifestée, pour cette légumineuse, que dans la parcelle D, fumée avec une scorie à 90 p. 100 de soluble.

Pour la *pomme de terre* et pour le *maïs géant*, les choses se sont passées différemment : les rendements des parcelles ont été plus élevés à mesure que le taux de la scorie en acide soluble dans le citrate l'était lui-même, résultat qui semblerait favorable à l'opinion de P. Wagner. Mais si la présence d'acide soluble a coïncidé pour le maïs et pour la pomme de terre avec l'élévation des rendements, contrairement à ce qui s'est produit pour les haricots, il s'en faut que l'accroissement des récoltes ait été *proportionnel* à l'augmentation du titre en soluble des scories employées ; c'est ce que montre nettement le tableau suivant, dans lequel, prenant pour unité (égale à 100) les récoltes de haricots, de pommes de terre et de maïs obtenues dans la parcelle D, qui a reçu la scorie la plus riche en phosphate soluble (90.2 p. 100), se trouve indiqué le rapport centésimal des teneurs des autres scories en acide soluble et celui des récoltes correspondantes :

	HARICOTS.	POMMES de terre.	MAÏS.
	—	—	—
D. Scories à 90 p. 100	100	100	100
C. Scories à 66.39 p. 100. . . .	62.9	82.6	97.6
B. Scories à 56.17 p. 100. . . .	65.6	75.8	82.6
A. Scories à 37.5 p. 100	67.2	64.3	72.9

On est autorisé d'après cela à conclure, comme je l'ai déjà fait, que, même dans la première année de fumure, il n'y a en ce qui regarde la composition des scories et les récoltes qu'elles fournissent, aucune corrélation étroite à établir entre la solubilité de l'acide phosphorique au citrate acide et son assimilation par la plante.

Pour les haricots, la scorie à 37.02 p. 100 de soluble a donné une récolte plus élevée que la scorie à 66.4 p. 100. Pour le maïs, un écart de 23.6 p. 100, soit près du quart dans la teneur des scories

des parcelles D et C, n'a produit qu'un excédent de récolte de 2.4 p. 100.

Je suis donc en droit de conclure qu'il n'y a pas lieu de modifier la base adoptée jusqu'ici pour l'achat des scories et qu'il est prudent de s'en tenir à la fixation du prix d'après la teneur en acide phosphorique en exigeant une garantie de finesse de mouture. Il ne faut pas d'ailleurs oublier que les scories à faible teneur en acide phosphorique soluble au citrate sont de beaucoup les moins nombreuses, au moins dans les produits des aciéries qui alimentent l'agriculture française. Les analyses accusent presque toujours 60 à 65 p. 100 d'acide phosphorique soluble, et très souvent 70 à 80 p. 100 et au-dessus.

Il n'y a donc, pour l'instant, rien de mieux à faire que de poursuivre expérimentalement l'étude de la question.

Si, ce qui n'est pas, il était démontré que la valeur agricole d'une scorie est proportionnelle à sa teneur en phosphate soluble dans le citrate acide, il est clair qu'on pourrait trouver dans le dosage de ce dernier une base équitable des transactions : encore faudrait-il tenir compte, dans la fixation du prix, de la quantité d'acide phosphorique insoluble dont la proportion atteint et dépasse même souvent le quart ou la moitié de l'acide soluble. Ce mode de vente entraînerait des difficultés pratiques, mais on arriverait à les vaincre, si l'équité exigeait qu'on l'adoptât pour sauvegarder à la fois les intérêts du vendeur et ceux de l'acheteur.

Le point capital, c'est d'établir d'une façon précise si, oui ou non, la solubilité dans le citrate donne la mesure de l'utilisation du phosphate des scories pour les récoltes. Avant qu'on se décide à modifier la base des contrats, il faut trancher la question par des expériences culturales assez nombreuses, méthodiquement suivies et suffisamment prolongées. Ces expériences doivent être nombreuses, dis-je, parce que l'action exercée par le sol sur ces matières fertilisantes est variable d'un terrain à un autre ; il faut qu'elles soient méthodiquement suivies pour écarter, autant que possible, les causes d'erreurs, enfin il est nécessaire de les prolonger pendant un temps assez long pour qu'on puisse constater si, une proportion plus ou moins grande, la totalité peut-être, de l'acide phosphorique, insoluble au

début de l'essai dans le citrate acide, ne se montrera pas aussi assimilable, au bout d'un certain temps, que l'aura été l'acide soluble.

Une dernière remarque. Quand on se trouve en présence de divergences dans les résultats culturaux observés par des expérimentateurs également habiles et consciencieux, il faut se garder, pour expliquer ces différences, d'invoquer, dans l'ignorance où nous sommes de leurs causes, la possibilité d'exceptions qui, suivant le vieil adage, confirmeraient la règle : il n'y a pas d'exceptions, à proprement parler, dans les phénomènes naturels : il n'y a que des différences dans les conditions qui accompagnent la production des phénomènes. C'est à définir ces conditions qu'il faut s'attacher, afin d'en déduire les règles sur lesquelles le praticien devra s'appuyer. L'expérience seule peut conduire à la solution.

Dans son admirable *Introduction à la médecine expérimentale,* Claude Bernard, auquel on doit la démonstration éclatante de cette vérité, a posé le principe scientifique du *déterminisme*, dans des termes dont ne sauraient trop se pénétrer les expérimentateurs et, en particulier, les agronomes :

« Il faut admettre, dit-il, comme un axiome expérimental que chez les *êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts, les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue.* Ce qui veut dire, en d'autres termes, que la condition d'un phénomène une fois connue et remplie, le phénomène doit se reproduire toujours et à la volonté de l'expérimentateur. La négation de cette proposition ne serait rien autre chose que la négation de la science même. En effet, la science n'étant que le déterminé et le déterminable, on doit forcément admettre comme axiome que, dans des conditions identiques, tout phénomène est identique et qu'aussitôt que les conditions ne sont plus les mêmes, le phénomène cesse d'être identique. Ce principe est absolu, aussi bien dans les phénomènes des corps bruts que dans ceux des corps vivants et l'influence de la vie, quelle que soit l'idée qu'on s'en fasse, ne saurait rien y changer. »

Les divergences d'opinion touchant la valeur alimentaire pour la plante de telle ou telle matière fertilisante, la difficulté de prévoir et d'évaluer à l'avance l'action des engrais sur les récoltes n'ont pas d'autre cause que l'ignorance où nous sommes presque toujours du

déterminisme des conditions naturelles en face desquelles se trouve placé l'agriculteur.

Les facteurs de la production végétale, de même que ceux de la fertilité d'une terre sont nombreux et variables d'une plante et d'un sol aux autres. L'expérience directe fondée, d'une part, sur la connaissance expérimentale aussi complète que nous pouvons l'acquérir des propriétés physiques et chimiques de la terre arable, de l'autre sur les exigences en principes nutritifs de la plante qu'on y veut cultiver. Voilà les éléments qui nous permettront, en tenant compte de la composition et de l'état des matières fertilisantes, de décider de la meilleure application à faire de ces dernières.

En ce qui touche les exigences minérales des plantes, nous sommes assez avancés pour prévoir les quantités de chacun des aliments que nous devons leur fournir pour obtenir des récoltes maxima. Si toutes les terres en culture avaient une constitution et une composition chimique identiques, le problème des hauts rendements serait singulièrement simplifié. Malheureusement, il n'en est point ainsi, et les cultivateurs sont en présence des sols les plus variés et dans lesquels les mêmes substances fertilisantes ne sont pas mises de la même manière à la disposition du végétal, d'où résultent des divergences parfois très considérables dans les rendements. Ces divergences ne sont point imputables au hasard ; elles tiennent à l'absence de déterminisme des conditions de la végétation dans des sols différents et diversement fumés.

Ces réflexions s'appliquent tout particulièrement à l'étude du rôle de l'acide phosphorique dans la végétation ; des expériences multipliées dans des conditions bien définies et suffisamment prolongées pourront seules nous éclairer. On ne saurait trop encourager les agriculteurs à les tenter.

EXISTE-T-IL UNE RELATION CONSTANTE

ENTRE LA

SOLUBILITÉ DES SCORIES DE DÉPHOSPHORATION

DANS LE CITRATE D'AMMONIAQUE ACIDE

ET LE POIDS DE LA RÉCOLTE PRODUITE?

PAR MM.

A. PÉTERMANN
DIRECTEUR

J. GRAFTIAU
CHEF DES TRAVAUX

A LA STATION AGRONOMIQUE DE GEMBLOUX

A la suite d'expériences entreprises par M. Wagner et par M. Maercker, la plupart des producteurs de scories de déphosphoration essayent de remplacer l'ancienne base de vente de cet excellent engrais phosphaté — garantie du degré de finesse de mouture et du titre en acide phosphorique soluble dans les acides minéraux — par la garantie en acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque acide. L'agriculture européenne consommant près de 1 milliard de kilogrammes de scories[1], vendues partout sur analyse, on comprend combien un changement des bases de transaction doit vivement émouvoir, non seulement les vendeurs et les acheteurs, mais aussi les chimistes agricoles appelés à guider le cultivateur et les analystes chargés de déterminer la richesse de la marchandise livrée. Aussi les appels à la prudence dans l'application immédiate de

1. *L'Engrais*, 1897.

la nouvelle méthode d'appréciation de la valeur des scories n'ont-ils pas manqués.

M. Wagner lui-même, avant de devenir partisan enthousiaste de la nouvelle méthode, écrivait[1] : « Je ne recommande nullement d'acheter les scories exclusivement d'après leur titre en acide phosphorique soluble dans le citrate. Cela serait un mode inexact et inapplicable. Inapplicable, parce que la méthode ne possède pas le degré de précision que les intéressés ont le droit d'exiger. Inexact, parce que la solubilité citrique d'une scorie n'est pas une expression nette et absolue de son effet, mais seulement une base approximative pour juger de sa valeur agricole. »

Dès 1894, et en ce qui concerne le marché belge, nous avons combattu la réforme proposée non comme mauvaise en principe, mais comme prématurée, la question n'étant pas suffisamment étudiée, ni sous le rapport cultural, ni sous le rapport analytique. De leur côté, les directeurs des laboratoires de l'État belge ont publié en 1895 la déclaration suivante :

« Le dosage de l'acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque acide, dont les journaux agricoles ont déjà parlé, sera exécuté d'après la méthode de Wagner chaque fois que l'expéditeur le demande ; mais l'assemblée a été unanime à déclarer comme prématuré de baser, dès maintenant, la vente des scories sur leur titre en acide phosphorique soluble dans le citrate acide. On fera, par conséquent, sur le bulletin d'analyse même, des réserves quant à l'exactitude du dosage demandé et quant à son utilité. »

Cette réserve prudente est partagée par M. Grandeau, de Paris, M. Liebermann, de Budapest, et M. Meissl, de Vienne. De plus, l'insuffisance scientifique de la méthode au citrate acide appliquée à l'analyse des scories a fait le sujet de plusieurs publications que l'on trouve résumées dans une brochure de M. Dubbers[2].

Aussi, l'application du nouveau mode de vente est-elle, en Allemagne même, loin d'être aussi générale qu'on voudrait le faire croire aux cultivateurs. La station agricole de Marburg[3] a analysé

1. *Düngungsfragen*, 1894, p. 25.
2. *Ueber Citrallöslichkeit der Thomasschlacken*. Francfort, 1897.
3. Dietrich, *Jahresbericht der Versuchsstation Marburg*.

l'année dernière 464 scories, dont 68 seulement ont été achetées sur la base de la solubilité citrique ; à la station de Halle[1], le nombre d'échantillons a été respectivement de 989 et de 320.

Afin de contribuer par des expériences personnelles à la solution de la question de savoir : *si la relation entre la solubilité citrique des scories et leur valeur agricole, relation constatée par plusieurs auteurs, a une portée générale et doit, par conséquent, être admise comme base commerciale,* nous nous sommes procuré, au commencement de 1896, onze échantillons de scories dont la solubilité citrique présente un grand écart. C'est avec intention que nous ne les avons pas recueillis au hasard, mais que nous nous sommes adressés à l'industrie intéressée même pour les obtenir. Les « Rheinisch-Westfälische Thomasphosphatfabriken » à Cologne ont eu l'obligeance de répondre à notre demande, en nous adressant les scories 1 à 10, la onzième est un produit de l'industrie belge. Le tableau suivant établit leur composition d'après les analyses faites par M. l'assistant Hendrick :

	ACIDE phosphorique soluble dans les acides minéraux.	ACIDE phosphorique soluble dans le citrate Wagner.	SOLUBILITÉ citrique p. 100 de l'acide phosphorique total.	CHAUX libre.	ACIDE silicique soluble dans les acides minéraux.	FINESSE de mouture au tamis normal (0m,017 d'ouverture de mailles).	POIDS de scories correspondant à la fumure de 0gr,3 d'acide phosphorique.
	p. 100	p. 100					gr.
I . . .	17.10	15.97	93.4	0.84	9.27	95.0	1,754
II . . .	21.47	8.08	37.6	5.67	3.24	79.4	1,397
III . . .	19.00	13.13	69.1	3.76	7.81	77.0	1,579
IV . . .	20.77	14.73	70.9	5.30	8.18	87.5	1,444
V . . .	19.17	15.16	79.1	5.02	7.28	90.3	1,565
VI . . .	18.66	16.46	88.2	3.89	8.51	97.2	1,608
VII . . .	18.76	15.71	83.7	5.07	5.97	98.9	1,600
VIII . . .	18.66	15.57	83.4	5.00	5.91	99.9	1,608
IX . . .	18.85	15.82	83.9	5.09	6.09	99.9	1,592
X . . .	13.43	10.25	76.3	4.90	6.86	87.4	2,234
XI . . .	16.23	9.83	60.6	5.04	4.97	79.4	1,848

1. Maercker, *Jahrbuch der Versuchsstation Halle.*

En tenant compte de leur titre en acide phosphorique soluble dans les acides minéraux et de leur finesse de mouture, nous constatons que toutes les scories analysées — sauf le n° X — sont de bons produits commerciaux : la richesse en acide phosphorique dépasse 16 p. 100 et la proportion de poudre fine 75 p. 100. Mais leur solubilité dans le citrate d'ammoniaque acide, préparé d'après Wagner, varie sensiblement : du minimum de 37 au maximum de 93 p. 100.

Comme nous l'avons conseillé dès 1886, le dosage de la chaux *libre* a été fait en épuisant en plusieurs opérations 5 grammes de scories par 150 centimètres cubes d'eau exempte d'acide carbonique, renfermant 20 p. 100 de saccharose. La richesse en oxyde calcique varie de 0.84 à 5.67 p. 100 et, chose intéressante à constater, la solubilité citrique est en proportion inverse du titre en chaux :

	OXYDE calcique.	SOLUBILITÉ citrique de l'acide phosphorique.
	—	—
	p. 100	p. 100
Minimum	0.84	37.6
Maximum	5.67	93.4

Mais il existe également un rapport entre le taux en silice et la solubilité citrique des scories :

	SILICE soluble.	SOLUBILITÉ citrique de l'acide phosphorique.
	—	—
	p. 100	p. 100
Minimum	3.24	37.6
Maximum	9.27	93.4

De ce qui précède, il résulte clairement que la relation entre la chaux, la silice et la solubilité citrique de l'acide phosphorique repose tout simplement sur un phénomène de saturation de l'acide citrique libre du réactif employé. Une scorie riche en silice, par conséquent pauvre en chaux libre, laisse intacte la presque totalité de l'acide citrique qui, sans entrave, peut exercer son action dissolvante sur le phosphate. Le contraire a lieu lorsqu'on traite, d'après

Wagner, un phosphate Thomas pauvre en silice et riche en chaux. Les scories de cette nature donnent un faible rendement par la méthode Wagner, moins parce que leur acide phosphorique se trouve dans un état chimique spécial, défavorable à leur solubilité, mais plutôt parce que la composition du réactif employé, autrement dit son acidité, n'est pas la même que lorsqu'il agit sur une scorie riche en chaux. C'est pour cette raison que le procédé industriel de Hoyerman, consistant à ajouter de la silice à la scorie en fusion, est absolument juste. C'est encore pour cette raison que M. Dubbers et que M. Paturel[1] ont pu constater, en employant un excès de citrate d'ammoniaque acide, que toutes les scories fournissent finalement une solubilité citrique très élevée et sensiblement égale.

Essais de 1896.

La méthode expérimentale suivie est celle que nous avons adoptée pour toutes nos recherches antérieures entreprises dans la serre[2]. Nous y renvoyons pour la description de l'installation des bocaux, de l'application des engrais, du mode d'arrosage, etc. Nous répétons seulement que le sol, de nature sablo-argileuse, renferme $0^{gr},65$ par kilogramme d'acide phosphorique soluble dans l'acide chlorhydrique à froid.

Notes de culture. — 6 avril : emplissage des pots avec 4 kilogr. de terre pour chacun, application des engrais : $0^{gr},25$ d'azote à l'état de nitrate de soude, $0^{gr},20$ de potasse anhydre à l'état de kaïnite et $0^{gr},30$ d'acide phosphorique anhydre à l'état de scories Thomas.

Notre étude ayant en vue l'essai comparatif de 11 scories de composition différente et chaque expérience comprenant 4 pots absolument sous le même régime, la culture de 1896 comptait en tout 52 essais, lorsque aux 44 pots fumés à l'acide phosphorique on ajoute 4 pots sans engrais aucun et 4 pots avec azote et potasse seulement.

1. *Annales agronomiques*, 1896.
2. *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture*, t. I et t. II.

6 mai : plantation de 12 grains d'avoine géante à grappes par pot ; — 11 mai : levée générale ; — 15 mai : on supprime 6 plants par pot, en laissant les 6 plus vigoureux ; — 29 juin : commencement de l'épiage ; — 24 juillet : les épis commencent à mûrir ; — 6 août : récolte.

On a fait suivre la culture principale d'une culture dérobée de moutarde blanche. A cette fin, les pots ont été vidés, le contenu de chacun mélangé isolément et remis en place. 13 août : semaille de 16 graines de moutarde blanche ; — 16 août : levée ; — 19 août : démariage en laissant 6 plants par pot ; — 31 août : les boutons apparaissent ; — 10 septembre : floraison ; — 17 octobre : récolte. Les produits (plantes entières) des 4 pots uniformément traités ont été réunis et pesés après leur dessiccation à l'air.

Récolte de 1896.

NUMÉROS des pots.	FUMURE.	RÉCOLTE TOTALE en avoine séchée à l'air des 4 pots identiquement traités.		LA RÉCOLTE des pots à l'azote et à la potasse = 100, ceux ayant reçu en outre de l'acide phosphorique =.		SOLUBILITÉ citrique des scories expérimentées.	RÉCOLTE dérobée de moutarde séchée à l'air, plantes entières.	LA récolte des pots à l'azote et à la potasse = 100, ceux ayant reçu en outre de l'acide phosphorique =.
		Grains.	Paille et balles.	Grains.	Paille et balles.			
		gr.	gr.				gr.	
1, 2, 3, 4.	Sans engrais.	44,5	86,5	»	»	»	8,1	»
5, 6, 7, 8.	Azote + Potasse.	51,1	102,7	100	100	»	15,0	100
9, 10, 11, 12.	Id. + Scories 1	64,8	131,3	127	128	93.4	17,8	119
13, 14, 15, 16.	— 2	60.9	123,0	119	120	37.6	15,9	106
17, 18, 19, 20.	— 3	61,5	123,8	120	121	69.1	18,2	121
21, 22, 23, 24.	— 4	63,6	125,4	124	122	70.9	18,5	123
25, 26, 27, 28.	— 5	62,2	121,0	122	118	79.1	17,3	115
29, 30, 31, 32.	— 6	58,0	118,2	113	115	88.2	16,5	109
33, 34, 35, 36.	— 7	63.1	126,3	124	123	83.7	15,9	106
37, 38, 39, 40.	— 8	59,4	121,0	116	118	83.4	18,7	125
41, 42, 43, 44.	— 9	61,3	124,4	120	121	83.9	17,4	116
45, 46, 47, 48.	— 10	58.9	117.7	115	115	76.3	19,0	127
49, 50, 51, 52.	— 11	62.9	124.8	123	122	60.6	15,6	104

Essais de 1897.

Les essais de 1897 sont une répétition, pour contrôle, de ceux de 1896 ; aussi toutes les données expérimentales relatées ci-devant s'appliquent-elles à la nouvelle série de culture. Nous avons seulement remplacé l'avoine par une plante de végétation plus longue : le blé de Bordeaux.

Notes de culture. — 26 février : préparation des pots ; — 27 février : plantation de 12 graines préalablement chaulées au sulfate de cuivre ; — 8 mars : commencement de la levée ; — 14 mars : levée complète ; — 18 mars : suppression de 6 plants par pot ; — 31 mai : sortie des épis ; — 9 juin : floraison ; — 28 juillet : récolte.

Après la pesée des épis et de la paille y compris les balles, on a dosé l'acide phosphorique dans un échantillon moyen formé avec les récoltes des 4 pots traités identiquement.

Les matières végétales riches en amidon, ou en graisse ou en sucre, ne laissant pas dans leurs cendres la totalité de l'acide phosphorique absorbé, une partie quelquefois sensible étant réduite et volatilisée, nous avons désagrégé le froment par l'acide sulfurique d'après Kjeldahl, en oxydant finalement par quelques gouttes d'acide nitrique fumant et en supprimant l'emploi du mercure. Les résultats de ces dosages, exécutés par M. Grégoire, chef des travaux à la station agronomique, se trouvent inscrits dans le tableau ci-après, renseignant également le poids de la récolte.

Si, pour la clarté de ce tableau, comme de celui des essais avec l'avoine de l'année précédente, nous n'y avons fait figurer que le rendement total obtenu par les 4 pots se trouvant sous le même régime, nous tenons à constater que les écarts entre le maximum et le minimum du poids des graines produit par chacun des 4 pots composant la même série, n'ont pas dépassé la valeur de 2.5 p. 100. C'est cette erreur inévitable d'expérimentation que nous avons toujours constatée dans nos recherches en serre depuis 1872, sauf dans les années 1883 et 1884, où elle atteint respectivement 3.0 et 2.9 p. 100.

Ces chiffres — qui se réduisent du reste de moitié lorsqu'on prend

Récolte de 1897.

NUMÉROS DES POTS.	FUMURE.	RÉCOLTE TOTALE en froment séché à l'air des 4 pots identiquement traités.		LA RÉCOLTE des pots à l'azote et à la potasse = 100, ceux ayant reçu en outre de l'acide phosphorique =.		SOLUBILITÉ citrique.	ACIDE phosphorique absorbé.		ACIDE phosphorique total contenu dans la récolte.	ACIDE phosphorique utilisé en p. 100 de l'acide phosphorique donné.
		Grains.	Paille et balles.	Grains.	Paille et balles.		Grains.	Paille balles.		
		gr.	gr.				p. 100	p. 100	gr.	p. 100
1, 2, 3, 4	Sans engrais.	77,1	153,0	»	»	»	1.04	0.07	0,91	8.8 } Eu sol.
5, 6, 7, 8	Azote + Potasse.	86,8	186,4	100	100	»	0.97	0.08	0,99	9.5 } Eu sol.
9, 10, 11, 12	Id. + Scories 1	108,3	219,5	125	117	93.4	0.99	0.13	1,36	30.8
13, 14, 15, 16	— 2	102,0	197,8	117	106	37.6	1.08	0.11	1,33	28.2
17, 18, 19, 20	— 3	107,9	206,4	124	111	69.1	1.04	0.09	1,31	26.7
21, 22, 23, 24	— 4	102,6	206,2	118	111	70.9	1.17	0.13	1,47	40.0
25, 26, 27, 28	— 5	107,4	215,8	124	116	79.1	1.07	0.16	1,50	42.5
29, 30, 31, 32	— 6	100,2	201,7	115	108	88.2	1.17	0.16	1,50	42.5
33, 34, 35, 36	— 7	110,0	219,7	127	117	83.7	1.13	0.14	1,55	46.7
37, 38, 39, 40	— 8	108,5	199,9	125	107	83.4	1.12	0.15	1,52	44.2
41, 42, 43, 44	— 9	105,9	213,0	122	114	83.9	1.05	0.15	1,43	36.7
45, 46, 47, 48	— 10	99,3	198,8	114	106	76.3	1.09	0.10	1,28	24.2
49, 50, 51, 52	— 11	101,0	204,4	116	110	60.6	1.09	0.11	1,33	28.3

} Acide phosphorique des scories.

comme base de comparaison, non l'écart entre le maximum et le minimum, mais bien leur déviation de la moyenne des 4 pots — parlent en faveur de l'exactitude de notre méthode expérimentale.

Conclusions.

Dans un sol sablo-argileux, titrant $0^{gr},65$ par kilogramme d'acide phosphorique soluble dans les acides minéraux et enrichi en azote et en potasse, l'augmentation du poids d'une récolte d'avoine et de moutarde (1896) et d'une récolte de froment (1897) n'a pas montré une relation constante avec la solubilité citrique de l'acide phosphorique des scories de déphosphoration appliquées.

S'il est vrai, d'une part, que le maximum d'avoine a été produit par la scorie Thomas la plus soluble dans le réactif de Wagner (93 p. 100), il est à constater, d'autre part : 1° que cette supériorité ne s'est manifestée, ni dans la récolte de moutarde qui suivait, ni dans la seconde série d'essais avec le froment ; 2° que le minimum d'avoine et le minimum de froment ont été obtenus par des scories également à solubilité élevée (88 et 76 p. 100) et 3° que, de l'ensemble de tous les résultats, ne ressort aucun rapport bien défini entre la cause et l'effet.

Quant à l'acide phosphorique absorbé par la plante entière de froment, il est à remarquer que, dans nos essais, l'utilisation de l'acide phosphorique donné comme engrais, n'a pas dépendu de la solubilité citrique du phosphate employé. En effet, nous avons obtenu les chiffres suivants :

SOLUBILITÉ citrique par ordre décroissant.	COEFFICIENT d'utilisation de l'acide phosphorique.
p. 100	p. 100
93.4	30.8
88.2	42.5
83.9	36.7
83.7	46.7
83.4	44.2
79.1	42.5
76.3	24.2
70.9	40.0
69.1	26.7
60.6	28.3
37.6	28.2

Nous sommes donc d'avis que la solubilité citrique de l'acide phosphorique de la scorie Thomas constitue une base d'estimation de sa valeur commerciale qui est loin d'être toujours en rapport avec l'effet produit par ce précieux engrais phosphaté. Cette base est donc *arbitraire* et par conséquent l'acheteur, en attendant mieux, doit continuer à exiger la garantie du titre en acide phosphorique total et celle d'une finesse de mouture suffisante.

INFLUENCE DES FORÊTS

SUR LES EAUX SOUTERRAINES

(Excursion hydrologique de 1895 dans les forêts des steppes)

PAR

P. OTOTZKY[1]

CONSERVATEUR DU MUSÉE MINÉRALOGIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE SAINT-PÉTERSBOURG

Au cours d'une excursion hydrologique faite en 1891 dans les domaines du comte Woronzoff, je me heurtai contre un fait extraordinaire : je ne trouvai pas d'eaux souterraines dans les forêts de ces domaines. Je pratiquai une série de sondages en remontant la pente, sans trouver d'eau. Le dernier trou de sonde était à 250 mètres du champ (clairière) où se trouvait un puits assez abondant. L'eau, dans ce dernier, reposait sur une couche d'argile bleue, tandis que dans le trou ci-dessus mentionné je ne constatai pas d'eau sur cette même couche.

Le même fait s'est répété dans une autre forêt située à 40 kilomètres au sud de la première. On a fait des trous de sondage de-ci

1. Nous devons la traduction de ce travail, publié à Saint-Pétersbourg en 1896, à M. Schrayer, étudiant russe de l'Université de Nancy, auquel nous adressons nos remerciements. (*Rédaction.*)

En me joignant à ces remerciements, de mon côté, j'envoie mon cordial *spassibo* (merci) russe au professeur *Henry,* à l'initiative et à l'amabilité duquel je dois le grand plaisir de partager mes modestes observations avec les Français. (*L'auteur.*)

de-là dans les forêts, soit sur les pentes, soit en terrain horizontal sans trouver d'eau, et cependant les forêts étaient entourées de sources provenant de deux niveaux.

Je ne savais que penser et n'osais m'arrêter à cette idée hardie que c'était la forêt qui asséchait le sol, bien qu'on eût déjà publié des observations sur le pouvoir asséchant des forêts et qu'on sût que dans la couche où plongent les racines des arbres le sol est toujours plus sec que dans les terres nues. Mais ces observations ne concernaient que de faibles profondeurs.

Deux ans plus tard, en 1893, je constatai un fait identique. Des études hydrologiques faites dans la partie orientale d'une forêt domaniale (forêt Chipoff) ont montré que la forêt est moins riche en eaux souterraines que les steppes environnantes. Comme ici le phénomène était des plus nets et que j'avais déjà publié une série d'études sur ce sujet (1894) en décrivant la forêt Chipoff, je me suis permis de hasarder l'hypothèse d'une influence des forêts sur l'abaissement du niveau des eaux souterraines, ajoutant que des études complémentaires étaient nécessaires avant qu'on pût généraliser cette relation.

L'honneur de l'initiative, pour la solution de cette question, revient à la Société libre économique qui entreprit, en 1895, une expédition hydrologique spéciale dans les forêts des steppes et m'en confia la direction.

C'est dans ce but que j'ai visité les forêts Chipoff et Semionoff (gouvernement de Voronej), la forêt Noire (gouvernement de Kherson) et les forêts de Khvalynsk (gouvernement de Saratov).

Je ne parlerai ici que des forêts Chipoff et Noire où j'ai travaillé le plus longtemps; dans les autres, j'ai simplement vérifié les faits.

Forêt Chipoff.

Cette forêt, située dans le gouvernement de Voronej, a été choisie parce que je la connaissais déjà partiellement, ainsi que ses alentours, grâce à mes excursions précédentes, mais surtout parce qu'elle est typique, à tous les points de vue, pour l'est et le sud-est des steppes russes.

Les traits généraux de toute la partie orientale de la forêt sont déjà donnés dans mon travail de 1894; ils peuvent s'appliquer aussi à la partie occidentale où furent concentrés les travaux de l'expédition de 1895.

Elle est formée de peuplements feuillus d'âge moyen (60-80 ans); il n'y a plus que quelques vieux arbres du temps de Pierre le Grand qui tira de cette forêt les bois nécessaires à la construction de la flotte de la mer d'Azov.

La composition géologique de cette partie occidentale est la même que celle de la partie orientale et des steppes avoisinantes. Immédiatement au-dessous du sol vient de l'argile morainique rouge avec galets; dans cette argile est interstratifiée une légère couche de sable. Plus bas on trouve des sables gris tertiaires peu épais, puis, à nouveau, de l'argile tertiaire verte, très épaisse et très compacte; au-dessous des sables gris phosphatés d'âge problématique et enfin la craie. En de rares points la dénudation a enlevé toutes les couches jusqu'à la craie.

Sur la steppe, dans toutes ces couches de sable et bien souvent dans les horizons inférieurs de l'argile, on trouve de l'eau à trois niveaux : le premier, peu abondant, dans l'argile morainique, le second, très abondant, dans le sable tertiaire, le troisième au-dessus de la craie.

Dans les forêts, le premier niveau manque complètement ; le second, quand il ne manque pas, est très pauvre et situé plus bas. Je ne puis rien dire du troisième, parce que les trous de sondage ne l'ont pas atteint.

Ce qui frappe tout d'abord, c'est la diminution brusque du nombre des sources dans la forêt.

Sur tout ce vaste espace, qui a une surface de 110 kilomètres carrés, il n'y a que trois sources et fort peu abondantes.

La pauvreté de la forêt en sources est indiscutable et ce fait est d'autant plus saisissant qu'autour d'elle l'eau abonde. En sortant de la forêt, si l'on marche dans la steppe vers le nord ou vers l'ouest, on trouve partout des sources et des puits toujours remplis d'eau, bien que les paysans en consomment d'énormes quantités pour leurs jardins. Il est curieux de constater que les puits se remplissent par

de l'eau venant des steppes ; il n'en vient pas de la forêt. On a vu des cas où cette eau de la steppe affluait en telle abondance qu'elle débordait jusque dans la forêt ; jamais le fait inverse ne s'est produit.

Dans le 69e carré on rencontre une source ; mais elle prend son origine dans la steppe et le ruisseau auquel elle donne naissance disparaît en forêt après un parcours de 500 à 600 mètres.

Parmi les 24 puits qu'on trouve, soit dans la forêt, soit sur ses bords, 3 seulement sont en forêt, sous des arbres ; tous les autres sont hors de la forêt, souvent à quelques mètres seulement. Est-ce un hasard ? Une si faible distance peut-elle avoir un effet ?

Disons d'abord, avant toute explication, qu'il est bien reconnu qu'on trouve toujours les puits hors des forêts. Tous les ouvriers attestent le fait, en s'en étonnant, et affirment que, chaque fois qu'on a essayé d'en creuser en forêt, on a dû y renoncer.

Examinons les trois puits qui, faisant exception à la règle, sont creusés en forêt. Le puits n° 6 est au fond d'un petit ravin ; c'est une sorte de fosse captant les filets d'eau du voisinage. Le puits n° 21 est aussi dans un ravin ; il est alimenté par le niveau d'eau de la craie, très abondant, comme nous l'avons dit. Le puits n° 15 (voir coupe n° 1) se trouve sur une petite pente. Il y a à côté deux puits : l'un (n° 14) est à 106 mètres du précédent en terrain nu et à 24 mètres du bord de la forêt. L'autre est dans le massif en terrain horizontal. Le puits n° 14 a son orifice à $3^m,17$ au-dessous de l'orifice du puits n° 15 situé en forêt. L'eau s'y montre à une profondeur de $8^m,52$, tandis que le puits de la forêt, plus profond ($17^m,05$), est à sec. Ainsi ce serait une erreur de croire que dans les forêts, même à proximité des puits, l'eau souterraine se tienne au même niveau que hors forêt. En s'éloignant très peu du massif boisé, on constate une différence dans le niveau des eaux souterraines. Bien plus, en forêt, les clairières, dont le sol est identique aux parties boisées, présentent avec ces parties des différences hydrologiques très nettes. On trouve plus de puits et plus d'eau dans ces clairières que sous bois. Dans les carrés 83, 84, 90, on voit la steppe pénétrant en langue étroite dans la forêt sur moins d'un kilomètre carré et dans ce petit espace nu on ne compte pas moins de quatre sources très abondantes.

Avons-nous le droit de dire pour cela que la forêt Chipoff est riche en eau? Nullement.

Il y a encore une circonstance qui accrédite dans le vulgaire la croyance que la forêt emmagasine les eaux souterraines. Grâce à l'ombrage des arbres, à l'absence d'agitation dans l'air, à une certaine imperméabilité de la superficie du sol, la forêt retient à la surface les eaux pluviales. J'ai souvent observé que, pendant les grandes chaleurs de l'été, l'eau des pluies, même peu abondantes, persistait plus d'une semaine sur les routes forestières. Alors que les routes des steppes étaient couvertes d'une couche de poussière, celles des forêts étaient boueuses. Dès lors, s'il se trouve en forêt des endroits favorisant l'accumulation des eaux pluviales, celles-ci formeront des mares qui ne s'évaporeront pas de tout l'été et l'on pourra croire qu'on a affaire à des étangs formés par de véritables sources, tandis qu'il s'agira simplement d'eaux de pluie. Nous avons trouvé quelques-unes de ces mares dans la forêt Chipoff.

A proximité de la ligne séparative entre la 31e et la 32e parcelle, sur une place nue, horizontale, il y a un creux rempli d'eau qui était, dit-on, plus grand autrefois ; il n'a maintenant que 20 à 30 mètres de diamètre et $0^m,50$ à 1 mètre de profondeur. Il ne se dessèche jamais ; à la fin de l'été, il diminue beaucoup, l'eau s'y putréfie et se couvre d'algues. On trouve encore 3 ou 4 autres mares semblables dans les parcelles 77, 24, 90 ; il est évident que ces amas proviennent des eaux pluviales et n'ont aucun rapport avec les niveaux d'eaux.

De cette série de faits résulte la preuve absolue de la pauvreté de la forêt en eaux souterraines. Bien que le nombre des faits ainsi observés soit considérable, on comprend qu'on ne peut s'appuyer uniquement sur eux et qu'il faut faire des expériences dans des conditions bien déterminées où l'on tiendra compte de tous les facteurs qui peuvent influer sur le régime des eaux souterraines.

Voici comment on a procédé.

On choisissait une lisière de forêt voisine de steppes ou de champs cultivés et on forait une suite de sondages allant du terrain nu vers la forêt. Ces sondages étaient reliés par un nivellement qui donnait la courbe exacte du niveau de l'eau. Sachant quelle influence énorme

a dans la distribution des eaux souterraines la moindre modification de relief et de composition géologique, j'ai pris soin d'établir ces lignes de sondages sur des lisières situées absolument à ces deux points de vue dans les mêmes conditions que les terrains nus avoisinants, de manière que la seule différence fût l'état boisé.

Pour se rendre compte du degré d'intensité de l'influence des forêts, on changeait les circonstances physico-géographiques des emplacements. Tantôt on choisissait une place où la steppe et la forêt étaient sur le tchernozem[1], tantôt sur le sol forestier[2]; tantôt la forêt descendait en pente douce vers le terrain nu, tantôt c'était le contraire, tantôt le terrain était horizontal. Dans certains cas on opérait sous de vieux peuplements, ailleurs sous de jeunes.

Le plus souvent on intercalait dans la chaîne des sondages un puits déjà existant, qui remplaçait avec avantage un sondage artificiel et renseignait de suite sur la profondeur à laquelle on trouverait l'eau. Le niveau de l'eau a été mesuré plusieurs fois en même temps dans les puits et trous de sondage.

Dans la forêt Chipoff on a établi quatre chaînes de sondages : une dans la partie ouest, deux dans la partie nord et la quatrième dans un champ au milieu de la forêt. Au sud et à l'est on n'a pu trouver d'emplacement convenable à cause des conditions compliquées du relief.

La *première chaîne*, celle de l'ouest, près de la lisière de Laptieff, est installée sur un terrain en pente légère vers l'ouest aboutissant à un large ravin qui débouche dans la vallée du fleuve Osserioda. L'emplacement paraît horizontal à la vue, et le massif est constitué par de vieux peuplements. Une partie du bord occidental de la forêt

1. La *terre noire* ou *tchernozem* de la Russie méridionale et de la Hongrie résulte d'une transformation opérée, sur un sol primitivement siliceux, par la décomposition des herbes des steppes. La terre noire, dont l'épaisseur va parfois jusqu'à $1^{m},25$ (Uladowka), renferme, d'après les analyses de M. Grandeau, 75 à 84 p. 100 de partie minérale, 4-15 p. 100 de matières organiques et de notables proportions de chaux, de potasse et d'acide phosphorique. (Voir dans les *Annales de la Station agronomique de l'Est* les Recherches de M. Grandeau sur les terres noires de Russie et les causes de leur fertilité, p. 225-354.)

2. Le *sol forestier* est le tchernozem changé par la végétation forestière ; il se distingue de ce dernier par sa couleur plus claire et par sa structure spécifique grenue.

se trouve sur le tchernozem, c'est-à-dire sur un terrain conquis récemment par la forêt sur la steppe. A 40 mètres du bord de la forêt, il y a un puits dont la profondeur jusqu'au niveau de l'eau est de $1^m,70$.

Le premier sondage (n° 1) a été fait à 32 mètres de la lisière du massif dans la prairie couverte d'une herbe épaisse et très haute. L'emplacement est horizontal; le sol est du tchernozem au-dessous duquel est l'argile brune habituelle, avec des concrétions de fer et de calcaire. Ce sol est sec, peu compact; l'instrument passe facilement; à 4 mètres, l'argile est devenue humide et l'eau s'est montrée à $4^m,40$. L'eau arrive abondamment; un jour après le forage, elle avait monté de $0^m,40$.

Le sondage n° 2, au bord de la forêt, touche d'un côté à des chênes de 60-70 ans et de l'autre à une prairie couverte de gazon très épais. L'orifice du trou est à $0^m,71$ au-dessus de celui du sondage précédent. Sous le tchernozem on trouve l'argile brune traversée par de nombreuses concrétions de calcaire; le sol est beaucoup plus compact que celui du trou n° 1; à $6^m,4$ l'argile est devenue plus noire et plus humide; elle était parsemée de taches ferrugineuses rouges. La sonde pénétra difficilement jusqu'à 15 mètres sans trouver d'eau.

Trou n° 3, sous les cimes de vieux arbres, à 75 mètres du précédent: terrain horizontal à $2^m,20$ au-dessus du trou n° 1. La composition géologique est identique à la précédente, c'est-à-dire de l'argile brune avec nombreuses concrétions de calcaire. Le sol est d'une sécheresse et d'une compacité remarquables; le percement se faisait avec une énorme difficulté; jusqu'à 15 mètres, limite où peut aller l'instrument, non seulement on ne trouve pas d'eau, mais pas trace d'humidité.

Dans cette première série on a donc constaté une brusque dépression du niveau des eaux souterraines sous la forêt, fait d'autant plus bizarre que, dans la règle hydrologique, on devait s'attendre, d'après la forme du terrain, à un relèvement de la courbe sous bois.

La *deuxième chaîne* est sur le bord septentrional de la forêt. L'emplacement est dans des conditions idéales pour des études d'hydrologie. Devant la forêt s'étend la steppe sans bornes et absolument

horizontale; la steppe est nue et le nivellement n'accuse aucune pente. Le point choisi est intéressant aussi par ce fait que la steppe borde ici, non un vieux massif, mais une jeune coupe d'un an avec des réserves.

Les trous de sondage (coupe 3) vont du puits n° 7 situé dans la steppe au massif plein en passant par la jeune coupe.

Le puits n° 7 est à 43 mètres du bord de la forêt; il est creusé dans l'argile ordinaire; on trouve l'eau à 5 mètres de profondeur et cette eau a $1^m,40$ jusqu'au fond du puits. Un trou de contrôle fait dans l'alignement du puits a rencontré l'eau à la même profondeur. L'exploitation de la forêt a commencé en 1893. D'après les renseignements des gardes, pendant les années 1894 et 1895, l'eau a augmenté. Le trou de sondage n° 4 est au milieu de la coupe à 80 mètres du précédent et à 43 mètres du massif plein. Il y a des réserves de-ci de-là; les plus proches du trou en sont à 6, 7, 13 et 16 mètres. Les souches ont fourni de nombreux rejets. Le sol est couvert d'une herbe très épaisse qui rendait la circulation difficile.

Le terrain est horizontal; le nivellement n'accuse pas plus de 2 à 3 centimètres de différence de niveau avec le trou précédent. Le sol est formé d'abord par le tchernozem, puis par l'argile rouge ordinaire; à 7-8 mètres l'argile devient plus noire et plus humide; au-dessous elle se montre plus claire, plus sèche. La sonde va jusqu'à $11^m,28$ et on rencontre l'eau à $10^m,68$; son niveau reste constant, son débit est insignifiant.

Le trou n° 5 est creusé dans un vieux massif plein, sous les cimes des arbres, à 107 mètres du trou n° 4, vers le sud-ouest. Le terrain est horizontal; il y a $0^m,75$ de différence de niveau entre ce trou et le puits n° 7. La forêt est sur le tchernozem; au-dessous vient une argile rouge, épaisse et sèche; à $6^m,40$, elle devient plus noire et plus humide; à $13^m,19$, elle est plus molle, sableuse et imbibée d'eau; à 15 mètres, la sonde entre dans le sable gris tertiaire où l'eau se montre, mais pas abondante; son niveau reste constant.

Comme le montrent les coupes, les eaux de la forêt descendent vers la steppe par une pente un peu plus douce que dans la première chaîne de sondages. Considérant que, d'une part, il y a identité absolue dans la composition géologique et le relief, que, de

l'autre, l'abaissement du niveau des eaux souterraines est proportionnel à la densité du massif, on est disposé à attribuer cet abaissement à l'influence du boisement, sinon entièrement, du moins en grande partie. C'est la cause principale, peut-être unique.

La *troisième chaîne* est encore située sur la lisière septentrionale de la forêt. Emplacement horizontal en général (voir coupe n° 4); c'est seulement hors des limites de la forêt que le sol s'infléchit. Près de la lisière est le puits n° 5. Jusqu'à 46 mètres de la forêt, le sol est nu ; la profondeur jusqu'à l'eau est de $3^m,20$ et jusqu'au fond du puits de $10^m,15$. Il y a beaucoup d'eau; d'après les renseignements pris, cette abondance est constatée depuis plusieurs années. A 420 mètres vers l'ouest de ce puits, il y a un ravin au fond duquel se trouvent des sources découlant de ces sables tertiaires en assez grande abondance. Ces sources situées tout à fait à la limite de la forêt sont dans un endroit couvert d'une végétation très clairsemée. D'après le nivellement, elles sont à $14^m,19$ en dessous de l'orifice du puits n° 5 et il est évident qu'elles appartiennent à l'horizon des sables tertiaires, alors que le puits est alimenté par la nappe superficielle, c'est-à-dire par le premier niveau dont nous avons parlé, dans l'argile avec des galets.

Le sondage n° 6 a été fait dans la forêt entre les sources dont il vient d'être question et le puits n° 5. Le massif, vieux, est devenu clair, d'où production d'herbes épaisses. La distance du sondage n° 6 au sondage n° 7 est de 150 mètres et celle du puits n° 5 à ce même sondage n° 7 est de 43 mètres.

L'orifice du sondage n° 6 est à $0^m,93$ au-dessus de celui du puits n° 5. Le sondage traversa les couches suivantes :

A la surface : tchernozem typique vierge ;

Au-dessous : argile brune d'abord, puis rouge à cause de la présence du fer ;

A $7^m,32$: petite couche de sable bien sec ;

A $13^m,72$: l'argile brune devient plus sableuse ;

A $14^m,64$: l'argile devient verte et sableuse ;

A $14^m,80$: sable argileux vert-gris.

L'eau a été rencontrée à $15^m,9$ avec un débit faible.

Le sondage n° 7 est à 43 mètres du puits et à 16 mètres de la

forêt, qui est formée là d'un vieux massif s'élevant comme un mur.

Il est en terrain tout à fait horizontal; c'est une place de repos pour le bétail. Le nivellement donne $0^m,64$ au-dessus du puits n° 5.

Le sol est le tchernozem vierge.

Au-dessous: argile ordinaire brune comme la précédente;

A $7^m,02$: petite couche de sable micacé où l'eau se montre;

Au-dessous reprend l'argile ordinaire.

Cette chaîne de sondages est intéressante parce qu'ici se manifeste l'influence des forêts sur l'abaissement des eaux. Malgré la petite distance des trous et l'identité de composition géologique, les deux points ont présenté une grande différence dans l'abondance des eaux. Il est curieux de constater que les couches de sable qui se rencontrent au même niveau dans les deux sondages, à 7 mètres de profondeur, sont tout à fait sèches sous la forêt et saturées d'eau dans la steppe.

La *quatrième chaîne* date de 1891 pendant que je me livrais à des études dans les domaines du prince Voronzoff sans viser ce but particulier; à présent j'ai fait plus attention aux caractères minéralogiques, j'ai relevé le plan et le nivellement avec soin et j'ai fait encore un trou de contrôle.

La chaîne commence au puits n° 1 (voir coupe n° 5) creusé près du bord de la forêt dans un champ de 30 ares environ. Le terrain est là horizontal, puis s'incline vers le midi en pentes faibles d'abord, puis plus fortes. C'est dans cette direction qu'est la chaîne des sondages. Le puits n° 1 creusé en 1891 est à 8 mètres des arbres les plus proches; il rencontre d'abord l'argile brune, puis l'argile verte tertiaire servant de base aux eaux souterraines assez abondantes.

La profondeur jusqu'à l'eau est de $13^m,63$ et jusqu'au fond de 17 mètres.

Il y a plus d'eau maintenant qu'il y a 4 ans.

Le sondage n° 8 est à 250 mètres du précédent en descendant la pente et son orifice est à $8^m,998$ au-dessous. Comme le sol a une pente régulière, je ne puis admettre qu'il soit en mouvement. Ce sondage n° 8 est dans un peuplement d'âge moyen.

A la surface : sol (terre) forestier;

Au-dessous: argile brune ordinaire, très sèche et très compacte;

A $9^m,76$: argile tertiaire verte, d'abord un peu sableuse, puis très compacte.

La sonde pénétra jusqu'à $12^m,78$ sans trouver d'eau.

J'ai décrit les sondages n° 9 et n° 10 dans un autre travail ; je ne m'y arrête pas.

Il est très intéressant de constater l'influence de si petits champs sur le niveau des eaux souterraines. Sachant, par les recherches précédentes, combien il s'abaisse vite, sous la forêt, même sur des distances très faibles, on pouvait prévoir qu'on allait rencontrer le même fait dans ce champ. Malheureusement il faut reconnaître que la chaîne de sondages dont nous parlons ne résout pas la question. On a bien constaté l'abaissement des eaux sous la forêt, mais on ne peut affirmer qu'il soit dû exclusivement à son action ; on pourrait tout aussi bien l'attribuer à la dépression des eaux vers le ravin.

Cependant les trous n° 9 et n° 10 feraient songer à l'influence de la forêt en raison de l'identité de la composition géologique en tous ces points.

Je n'ai pas pu trouver d'autres emplacements favorables dans la forêt Chipoff ; j'ai été plus favorisé sous ce rapport dans la forêt Noire.

Forêt Noire.

La forêt Noire (gouvernement de Kherson, district d'Alexandria, 48° 20′ lat., 30° 18′ long.) se trouve, comme la forêt Chipoff, sur le bord sud de la région appelée en Russie *Steppe à forêt* ou *Steppe demi-forestière*.

Ni vers l'est sur le même parallèle, ni vers le sud sous le même méridien, on ne trouve de véritables *forêts de steppe*. Il n'y a que dans les vallées de fleuve et sur les ravins des steppes qu'on trouve des forêts naissantes.

Cette forêt Noire est entourée de légendes ; elle a autrefois abrité des moines, après avoir servi de repaire à des brigands.

La nature en a fait une véritable forteresse d'où les brigands observaient la proie qui passait dans les steppes. Les légendes populaires qui la concernent prouvent qu'elle est très ancienne. La partie nord confine à la rive droite du fleuve Ingoulets et sa lisière sud

s'étend sur une ligne de partage des eaux très étroite ; les sources des affluents du fleuve Ingoulets touchent presque celles des affluents qui vont en sens contraire. Néanmoins, toute la région donne l'impression d'une surface horizontale, plus encore que la forêt Chipoff. Alors que, dans celle-ci, la pente des ravins commence à une distance de 1 kilomètre et plus, si bien que la voiture donne la sensation d'un voyage sur les vagues, ici le sol est horizontal et c'est tout d'un coup, sans être prévenu, que l'on tombe sur un ravin. La caractéristique des forêts de steppes de l'orient, d'après Ommer de Hell, réside dans les vallées larges et profondes qui les sillonnent et qui sont bordées de versants abrupts si bien qu'on se croit dans une vaste plaine et qu'il faut arriver au bord de la fente pour la voir. Les ravins de la forêt Noire débouchent tous dans le fleuve Ingoulets ; deux ont 53 mètres de profondeur ; ils commencent avant la forêt. (Voir le profil du S.-E. au N.-O. fait d'après mon nivellement et celui des élèves de l'École forestière.) Les chiffres d'altitude ont été reliés à ceux des gares ; ils donnent exactement le niveau au-dessus de la mer Noire.

Composition géologique. — On possède à cet égard très peu de renseignements. En 1869, Barbot de Marny a, le premier, décrit la composition géologique de la province ; mais il n'a pas vu les environs de la forêt, et ce n'est que d'après des renseignements qu'il dit que, sur le fleuve Ingoulets, près de la station de Ciboulevа, on voit du granit. Sur la carte géologique, cette région est colorée de la teinte affectée à l'argile sableuse tertiaire et dans les ravins sont marqués des pointements de roches cristallines.

Plus tard, Sokolof fit des recherches hydrogéologiques ; malheureusement l'auteur n'a pas publié tout son travail. En 1893, a paru un résumé[1] dans lequel l'auteur donne brièvement les caractères généraux de quelques districts du gouvernement de Kherson.

Il dit qu'au sud et au centre du district d'Alexandria il y a un grand développement de roches cristallines anciennes (granit,

1. *Études hydrogéologiques dans le sud et le sud-est du gouvernement de Kherson*, par Sokolof. Saint-Pétersbourg, 1893.

gneiss) dont les affleurements montent jusqu'à la ligne de partage des eaux des steppes ; ces roches sont couvertes d'une couche mince de löss.

C'est surtout le tertiaire et notamment l'oligocène qui y est représenté.

La littérature est donc très pauvre, malheureusement, car, dans le cas contraire, j'aurais pu me fier à la carte géologique de la province sans être obligé de la faire.

D'après mes recherches, la série des couches géologiques est la suivante :

1° Löss au-dessous duquel on trouve de l'argile plus compacte, plus brune, l'épaisseur générale est de 14-17 mètres ;

2° Sable argileux gris, très compact, pénétré de veines de lignite, à $0^m,70$;

3° Sable orange, de $0^m,45$ à $0^m,70$;

4° Lignites très terreux, de $0^m,07$ à $0^m,10$;

5° Sable blanc ou ocreux avec amandes de kaolin, 17 mètres.

Sur les formations cristallines, je n'ai pas constaté de sable, mais à leur surface d'affleurement il y a beaucoup de graviers provenant de leur destruction.

A la base de toutes ces couches, on trouve le granit-gneiss.

Les conditions hydrologiques sont ici simples.

Le premier niveau des eaux souterraines est partout à la limite entre le löss et l'argile brune. Il est curieux qu'ici la structure des couches ne semble pas jouer un grand rôle, comme je l'avais déjà constaté. L'eau suinte tantôt de la partie inférieure du löss, tantôt de la couche supérieure de l'argile brune, et à l'œil nu on ne constate pas la moindre différence entre les portions de ces terrains qui restent sèches et celles qui sont gorgées d'eau. Ce premier niveau n'est pas très riche en eau et il n'est pas très répandu, bien qu'il soit alimenté par toutes les pluies de la steppe. Dans tous les ravins où la dénudation ne s'est pas exercée, on voit de petites sources à ce niveau. Ces eaux sont assez bonnes, bien que le löss soit riche en sel.

Le deuxième et dernier niveau se trouve dans les sables qui recouvrent le granit. Par son développement et son abondance en eau, il joue le premier rôle dans la région. Comme les couches tertiaires

inférieures occupent presque tout le nord-ouest du gouvernement de Kherson, il faut admettre que le rayon d'alimentation est très grand. Il est vrai que la surface des formations cristallines de base est irrégulière et que dans les creux ont pu s'accumuler des sables provenant de la désagrégation des granits et renfermant de l'eau. Cette irrégularité de la surface fait que les eaux ne sont pas distribuées régulièrement. Néanmoins, la provision d'eau est très considérable ; c'est elle qui alimente les fleuves de la région. Deux pompes de la Station de Znamenka sont alimentées par cette nappe ainsi que toute la ville d'Ielizavetgrad. D'après l'ingénieur, les trois puits existants fournissent 75 000 seaux par 24 heures ; ils ont $2^{m},1$ de diamètre. Si on avait voulu augmenter le nombre des puits, on serait arrivé à 300 000 seaux dans les 24 heures.

Dans la plupart des ravins aboutissant au fleuve Ingoulets, au fond et au milieu où se voit une série de sables tertiaires il y a une masse d'eau qui forme de véritables sources. L'eau pénètre souvent dans les fentes du massif cristallin et coule sur le granit-gneiss. Tous les étangs, sauf celui de Znamenka, s'entretiennent par les eaux de cet horizon ; à cause de l'irrégularité de la surface, il y a des différences profondes dans l'abondance et le niveau de l'eau.

Dans la forêt Noire, nous avons constaté le même fait que dans la forêt Chipoff ; elle est plus pauvre en eau que les steppes environnantes. La première nappe aquifère ne donne pas de sources ; elles proviennent du second niveau et il faut les chercher dans les ravins.

La forêt Noire est coupée du nord au sud par un ruisseau qui parcourt plus de 7 kilomètres dans la forêt et qui a sa source en dehors. A la tête du ravin, on voit de bonnes sources appartenant au premier horizon, celui du löss ; mais ce ruisseau devient à sec en entrant dans la forêt jusqu'à la 38e parcelle ; à partir de là, le fond est formé simplement de boue avec un peu d'eau en deux ou trois endroits ; la mare la plus importante est dans la parcelle 29. Dans les parcelles hautes 46 et 39, la forêt est jeune ; dans les parcelles 18, 11, 3, elle est vieille. A partir de la parcelle 39, en descendant, le fond et le bas des versants du ravin sont nus ; les champs occupent une grande surface autour de la mare de la parcelle 29.

Une autre rivière traverse la forêt au sud-est et prend sa source près de Znamenka ; les eaux du village de Znamenka sont du premier horizon et nourrissent un grand étang dont les eaux se perdent avant d'arriver dans la forêt ; la rivière y est à sec ; ce n'est qu'au bout d'un kilomètre qu'apparaissent de petites sources appartenant à l'horizon des sables tertiaires.

Voilà toutes les eaux superficielles.

Il nous reste à étudier les puits et les trous de sondage. Pour les puits, de même qu'à Chipoff, le plus grand nombre est en dehors de la forêt ; les quelques puits qui s'y trouvent sont tous alimentés par le second horizon.

Le puits n° 13 est très caractéristique. Il est ouvert dans un vieux massif à 54 mètres du bord (voir coupe 6). On est allé jusqu'à $27^{m},69$ sans trouver d'eau et pourtant, à 114 mètres de là, en terrain découvert, à 60 mètres du bord du massif, le sondage n° 23 a trouvé l'eau à une profondeur de $15^{m},54$; l'orifice du trou de sondage est à $1^{m},47$ plus bas que celui du puits de la forêt. La structure géologique est la même dans les deux points. D'après les renseignements des gardes, ce fait se reproduit fréquemment.

Puisque les eaux souterraines sont à une grande profondeur, on peut prévoir que l'influence de la forêt sera moins frappante qu'à Chipoff ; mais d'autre part, grâce aux conditions du relief et surtout à la forme de la forêt se prolongeant dans la steppe par de minces bandes boisées, les sondages offrent encore plus d'intérêt. En traçant une ligne de sondages traversant la forêt, les champs, puis la forêt, nous espérions avoir pour la courbe dessinant le niveau des eaux souterraines une ligne en zigzag ; c'est en effet ce qui s'est réalisé. Les principes et les moyens de recherches ont été les mêmes que pour la forêt Chipoff.

Chaîne n° 5 (coupe 7). — Elle est située dans la partie sud de la forêt en terrain horizontal ; mais à 120 mètres de la forêt se trouve une petite dépression qui se dirige vers le nord-ouest. A l'ouest de cette dépression peu marquée, le terrain descend brusquement vers le ravin de Roudka, sur le fond duquel se trouve une petite source provenant de l'eau qui a filtré de l'étang de Znamenka sous les rails de la voie ferrée.

La forêt est vieille et forme un grand demi-cercle entourant les champs. A 200 mètres du bord de la forêt, sur une petite élévation, se trouve le puits n° 17, bien fourni d'eau potable de l'horizon du löss.

Profondeur jusqu'à l'eau	$10^m,15$
— jusqu'au fond du puits . . .	.14 ,15

Les habitants de Znamenka utilisent cette eau qui ne s'épuise pas. Ce puits est le point de départ de notre chaîne de sondages vers la forêt. Le trou de sondage n° 11 est à 106 mètres du puits ; l'orifice est à $0^m,95$ au-dessous de celui du puits et il y a une distance de 88 mètres entre ce sondage et la forêt.

On a constaté les couches suivantes :

1° Tchernozem à $0^m,76$;

2° Löss éluvial et löss normal ; à partir de $7^m,17$, le löss devient brun-noir ;

3° A partir de $9^m,15$ encore le löss avec veines nombreuses ;

4° A partir de $11^m,44$ on trouve l'argile brun-noir, gluante, assez riche en fer et en chaux.

La sonde a pénétré jusqu'à $14^m,95$ et l'eau s'est montrée à $11^m,35$ avec un faible débit.

Le sondage n° 12 est à 71 mètres du n° 11 et à 18 mètres de la forêt ; son orifice est plus haut que le précédent de $0^m,75$.

Sous le tchernozem ($0^m,70$) se trouve le löss typique gris-jaune. A $7^m,63$ se voit une couche plus brune de même structure que le löss. A $8^m,90$, on touche encore le löss très calcarifère, et à $9^m,98$ l'argile brun-noir, plus compacte et plus sèche que dans le sondage n° 11. La sonde a pénétré jusqu'à $14^m,80$ et l'eau a été rencontrée à $12^m,90$ avec un faible écoulement.

Le sondage n° 13 est fait dans un vieux et haut massif à 36 mètres du précédent et à 18 mètres du bord.

Les couches traversées par la sonde sont les mêmes que les précédentes, mais très sèches et très compactes. On a éprouvé d'énormes difficultés pour le forage.

Immédiatement au-dessous du sol forestier on trouve le löss éluvial et normal ; à $10^m,22$, l'argile brun-noir avec grains noirs et

veines nombreuses ; cette argile, très compacte, est collante, gluante, très humide dans le fond.

L'eau apparaît à 15^{m},90.

On a mesuré à diverses reprises les niveaux dans les divers trous sans constater de changements.

Ainsi l'on voit un abaissement progressif, des eaux souterraines à mesure qu'on se dirige vers la forêt. Seulement, au début, cet abaissement est faible (2 mètres sur 100 mètres) ; dès qu'on entre en forêt, la courbe tombe brusquement (de 2 mètres sur une distance de 36 mètres).

Il est curieux de constater que la situation du sondage n° 11, au fond d'une petite dépression, et la présence d'une fouille assez profonde, près du trou n° 12, n'ont pas eu d'influence sur cet abaissement régulier des eaux souterraines.

Chaîne n° 6 (coupe 8). — Elle se trouve sur la lisière sud-est de la forêt, qui se termine ici, dans la steppe, par une langue étroite remontant sur une pente vers la tête d'un petit ravin. Vers le sud, la forêt borde la steppe horizontale. Ce point domine toute la contrée, grâce au développement des sables tertiaires. La composition géologique est assez régulière. Les eaux souterraines, comme le montrent les puits 23, 24, 25 et 26, sont relativement à faible profondeur. Notre attention s'était portée sur la lisière d'Odessa comme sur l'endroit le plus horizontal.

Près de la forêt est le puits n° 23 dont l'eau est très abondante ; pendant nos recherches, une machine à vapeur, nombre d'ouvriers et de voyageurs y ont puisé et chaque matin l'eau y était au même niveau.

Profondeur jusqu'à l'eau	13^{m},49
— jusqu'au fond	16 ,54

Le sondage n° 16 a été fait dans la forêt, à 72 mètres du puits précédent et à 48 mètres du bord de la forêt, constituée là par un vieux et haut massif.

L'orifice est à 0^{m},55 plus bas que celui du puits.

Les couches géologiques sont toujours les mêmes : d'abord le löss, avec une coloration brune à la profondeur de 25 mètres ; plus

bas, à partir de 40 mètres, l'argile brun-noir, compacte, avec grains noirs et concrétions nombreuses.

On a creusé jusqu'à 18m,14; l'eau affleure à 15m,70. Le sondage a été rendu très difficile par la compacité et la sécheresse des couches.

Nous voyons que, sur une très faible distance, il y a un abaissement marqué des eaux souterraines sous la forêt, et on ne peut l'attribuer à l'inclinaison, très faible du reste, du terrain vers la forêt; car, même en tenant compte de cette circonstance, la différence porterait sur des centimètres et il y a une brusque dépression de 2m,76.

Chaîne n° 7 (croquis 9). — La parcelle 68 se prolonge par une bande longue et étroite dans la steppe ouverte. Cette bande est traversée, presque en son milieu, par un chemin de 56 mètres de largeur. Il était curieux de savoir si cette petite clairière avait une influence sur l'allure des eaux souterraines. Dans ce but, on a pratiqué deux sondages, l'un au milieu de la clairière, l'autre dans la forêt voisine, vieille et épaisse, à 70 mètres du premier sondage et à 42 mètres du bord. Les deux sondages sont au même niveau.

Le sol est de terre forestière jusqu'à 0m,92; au-dessous vient le löss éluvial; à partir de 3m,96, on voit le löss typique, gris-jaunâtre; à 8m,08, on rencontre l'argile rouge-brun, semblable au löss; à 8m,55, à nouveau le löss gris; à 11m,83, l'argile brun-noir; à 11m,34, elle devient sableuse et plus riche en chaux.

La sonde s'est enfoncée jusqu'à 15m,02 et l'eau s'est montrée à 14m,48. Le sondage a été assez facile.

Dans le sondage n° 18, fait en forêt, on trouve sous le sol forestier le löss éluvial brun, pas très dur; la sonde passe bien. A partir de 4 mètres, elle entre dans le löss typique et pénètre difficilement. A 7m,17, on rencontre le löss brun; à 8m,96, à nouveau le löss ordinaire (le sondage avance très lentement); à 11m,28, l'argile brun-noir; dans cette couche plus douce, moins dure, la sonde pénètre plus facilement et arrive à 15m,09 sans trouver d'eau; le sondage s'arrête là, parce que l'instrument se rompt.

Néanmoins, cela suffisait pour montrer que le niveau de l'eau est plus bas en forêt. Ainsi, dans ce lieu présentant partout le même

relief, la même composition géologique, le niveau de l'eau souterraine se relève juste sous la projection de ce petit espace déboisé.

Il est regrettable que l'accident survenu à la sonde ait empêché de préciser les limites de ce bombement.

Chaîne n° 8 (coupe 10). — Elle est installée dans la partie sud-ouest de la forêt.

Entre les parcelles 25 et 36 se trouve un grand champ, relié à la steppe par une bande étroite. La forêt est d'âge moyen ; en dehors d'un ravin boisé, qui coupe le champ, le terrain est horizontal. Presque au milieu du champ, le puits n° 14 est assez riche en eau.

Profondeur jusqu'à l'eau	$10^m,95$
— jusqu'au fond	13 ,55

Le point de la forêt le plus rapproché est à 236 mètres ; à 213 mètres du puits n° 14, au fond du ravin boisé, est creusé le puits n° 12, qui a une profondeur de $2^m,70$ jusqu'à l'eau et de $4^m,17$ jusqu'au fond.

Il se trouve dans un peuplement de 25 ans.

Comme l'a constaté le nivellement, la surface de l'eau du puits n° 14 est à $2^m,19$ au-dessus de celle du puits n° 12, bien qu'on en tire une énorme quantité d'eau.

Nous avons voulu déterminer le plan d'eau sur une plus grande largeur en faisant des sondages d'un côté vers la steppe, de l'autre dans la forêt qui avoisine le champ. Nous avons ainsi obtenu une chaîne dont les quatre anneaux ont touché successivement la steppe, la forêt, le champ, la forêt.

Sondage n° 19 dans la steppe ouverte, avec pente légère vers le ravin. L'endroit est cultivé.

L'orifice du trou est plus haut que celui du puits n° 12 de $12^m,25$; il est à 70 mètres de ce puits et à 40 mètres du bord de la forêt.

La sonde traverse $0^m,61$ de tchernozem, puis le löss éluvial passant au löss normal ; à $5^m,49$, le löss devient argileux et brun-noir ; à $8^m,55$, l'argile se montre plus claire, riche en formations ocreuses

passant peu à peu au löss ; à $10^m,55$, le löss devient mol et humide.

L'eau se manifeste en abondance à $11^m,44$.

Sondage n° 20 dans la forêt pleine d'âge moyen (parcelle 36), à 20 mètres du bord, à 256 mètres du puits n° 14. L'orifice est plus haut que celui du puits de $0^m,04$. Entre eux se trouve une légère dépression.

Le sol forestier passe au löss plus ou moins éluvial. A $3^m,66$, on trouve de petites veines de l'argile brune du löss avec des concrétions de calcaire de $0^m,1$ d'épaisseur ; à partir de $8^m,2$, argile brun-noir plus molle ; à partir de $10^m,69$, argile plus noire, marneuse ; à partir de $11^m,28$, argile plus claire, plus compacte, assez humide, et à partir de $12^m,50$, argile plus sombre avec ocre jaune, ferrugineuse.

La sonde pénètre à $14^m,50$; l'eau affleure à $14^m,03$.

Le résultat du sondage est très curieux. En réunissant par une ligne le niveau de l'eau des puits et des sondages, on obtient une ligne brisée dont les points les plus bas sont toujours sous la forêt.

L'abaissement du niveau sous le massif boisé ne peut avoir d'autre cause que la présence de la forêt.

Chaine n° 9 (coupe 11). — Elle traverse un champ d'un kilomètre carré, presque au centre de la forêt, dans les parcelles 40 et 41. Ce champ est horizontal ; ce n'est qu'à l'extrémité occidentale qu'il est un peu en pente vers un ravin. Par son bord nord-est ce champ confine à un vieux massif ; au sud-ouest la forêt est jeune. Sur le champ même, vers le sud-est se trouvent deux puits : le premier (n° 4), à 55 mètres d'une jeune forêt, a une profondeur de $14^m,05$; son eau n'est pas utilisée ; le second (n° 5), à 114 mètres du précédent, plus près du centre du champ est à 100 mètres du point le plus rapproché de la forêt. Son orifice est à $0^m,38$ au-dessous du précédent et il est très curieux que le niveau de l'eau y soit à $1^m,38$ au-dessus du niveau du puits n° 4.

Le sondage n° 21 a été fait dans un peuplement jeune et très dense près du puits n° 4, à 85 mètres de lui et à 30 mètres du bord de la forêt : l'orifice est au même niveau que celui du puits.

Sous le sol forestier, on trouve le löss un peu modifié, puis, à $7^m,35$, l'argile du löss, brun-noir.

Plus bas, le löss parsemé de concrétions nombreuses; l'eau se montre à une profondeur de 15 mètres, avec écoulement faible.

Le trou n° 22 a été foré dans un massif épais et vieux (parcelle 41), à 694 mètres du puits n° 5 et à 40 mètres du bord de la forêt, sous de grands chênes.

Le terrain est en pente légère vers l'est.

On a relevé les couches suivantes :

Sol forestier, $0^m,70$; au-dessous, löss; à partir de $2^m,90$, argile du löss brun-noir; à $3^m,35$, encore le löss normal de teinte claire; à $8^m,84$, il devient plus gris et collant; à $9^m,76$, argile brun-noir.

L'eau se montre à $12^m,20$.

Comme le montre cette coupe, la structure géologique est ici normale; seulement l'horizon supérieur du löss, ainsi que le löss noir a été enlevé par dénudation et remplacé par une formation qui ressemble au löss, peut-être de nature alluviale.

Ainsi, comme dans les cas précédents, le niveau des eaux souterraines est plus élevé, sous le sol nu, que sous la forêt, et l'abaissement du niveau est moindre sous le jeune peuplement que sous le vieux massif. La courbe atteint son point culminant sous le centre du champ et s'abaisse de chaque côté dès qu'on s'approche de la forêt.

Une partie de la forêt a été exploitée par bandes alternes, une bande restant pleine entre deux bandes exploitées à blanc étoc. Nous avons fait deux sondages, l'un dans la bande pleine, l'autre dans la coupe exploitée pour voir s'il y avait une différence dans le niveau des eaux. Mais la sonde ne pouvait aller qu'à 15 mètres et à cette profondeur l'eau ne se montra ni dans l'un ni dans l'autre.

Rappelons en terminant que, dans l'été de 1891, M. Bliznin a entrepris des observations comparées sur l'humidité du sol dans la forêt Noire, à 108 mètres du bord et dans les champs qui l'environnent, à 135 mètres de la forêt, sur un emplacement horizontal et normal[1]. Les déterminations faites à trois reprises jusqu'à $1^m,50$ de profondeur, ont montré que les couches supérieures du sol fores-

1. Travail de M. Bliznin sur l'humidité du sol dans la forêt et dans les champs. 1892, *Bulletin météorologique*, n° 7, p. 269-273.

tier sont plus humides que celles des champs cultivés et que les couches inférieures sont, au contraire, plus sèches.

TAUX D'HUMIDITÉ.	FORÊT DE 30 ANS.			CHAMP DE BLÉ.		
	17 mai.	22 juin.	23 juillet.	17 mai.	22 juin.	23 juillet.
De 0m à 0m,30	17,2	14,4	17,5	10,3	10,4	19,9
De 0 ,30 à 0 ,60	17,5	13,8	13,0	15,6	11,7	18,3
De 0 ,60 à 0 ,90	18,4	14,6	11,6	16,2	12,3	12,2
De 0 ,90 à 1 ,20	18,5	14,6	11,1	16,2	13,5	11,1
De 1 ,20 à 1 ,50	15,5	14,4	11,8	17,1	15,4	12,9

Les points où ont eu lieu les prélèvements ont été choisis de telle façon, affirme M. Bliznin, que la différence d'humidité ne peut être attribuée qu'à l'influence de la végétation.

Conclusions.

Il résulte de l'ensemble des faits observés dans les forêts de steppe de la Russie méridionale que : *toutes conditions physico-géographiques égales, le niveau des eaux phréatiques*[1] *dans les forêts est plus bas que dans la steppe adjacente ou qu'en général dans un espace libre voisin.*

Comme le montrent les coupes, dans tous les cas sans exception, à l'approche de la forêt, le niveau des eaux phréatiques s'abaisse, la couche plonge et, dans certains cas, la dépression de la courbe est très accentuée. Il en est ainsi dans la forêt Chipoff, près de la lisière d'Ericheff, où sur un parcours de 190 mètres le niveau s'abaisse de 10m,96 (voir coupe 4), ou encore près de la lisière de Lapteff; là, sur une distance de 32 mètres la différence de niveau dépasse 10 mètres.

Le même fait se constate dans la forêt Noire ; près de la lisière de Zandroff, sur 200 mètres environ, le niveau tombe de 4m,95 (voir coupe 7) et de 10m,78 (voir coupe 6) sur une distance de 114 mètres près de la lisière Tsybouleff.

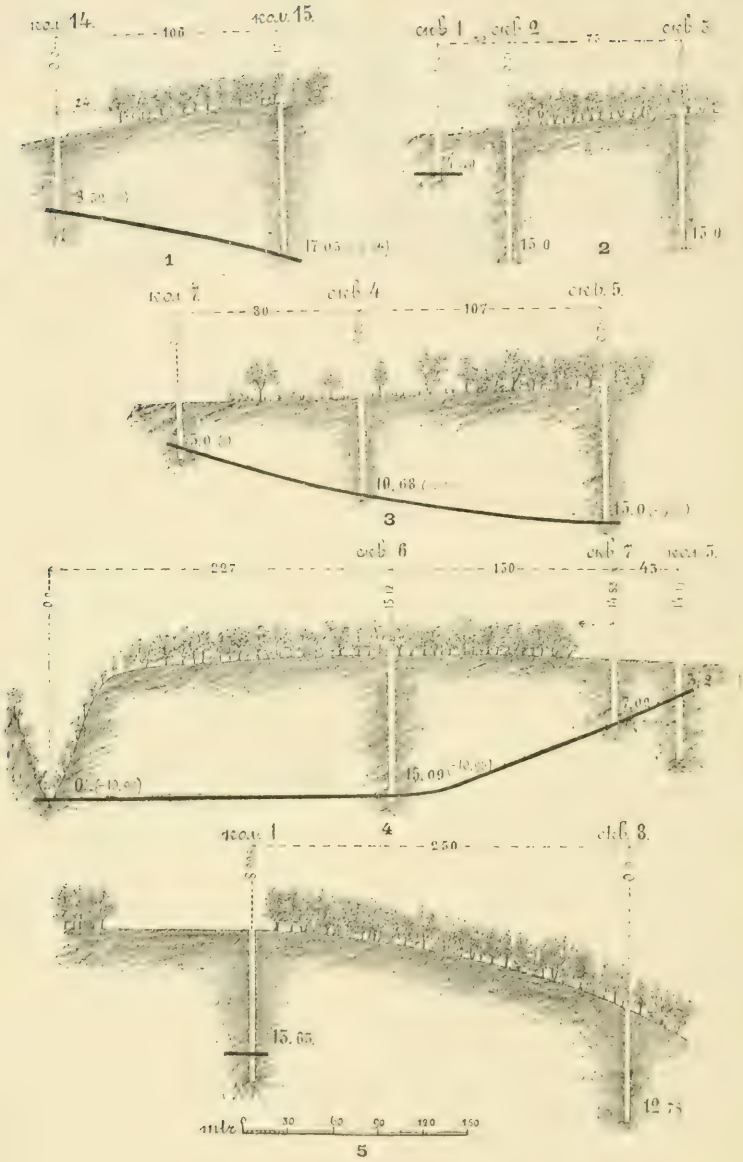
1. Daubrée dans son ouvrage : *Les Eaux souterraines*, t. I, p. 19, appelle ainsi la nappe d'eau souterraine la plus rapprochée de la surface, celle qui alimente les puits ordinaires (du grec φρέαρ, ατος, puits).

Il est intéressant de remarquer que cette dépression du niveau des eaux phréatiques est plus accusée sous les vieux massifs que sous les jeunes peuplements ; dans ce dernier cas, le niveau s'est seulement abaissé de $1^{m},57$ sur une distance de 80 mètres.

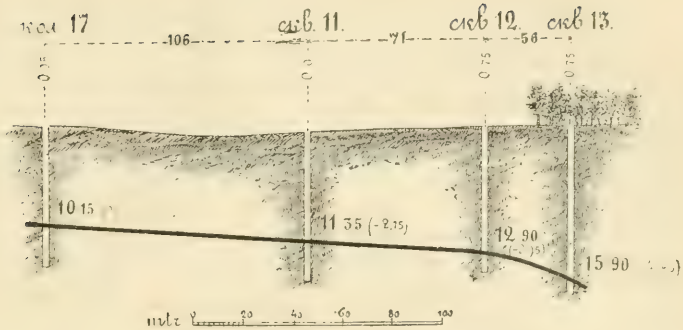
Constatons aussi que, généralement, le plan de surface des eaux phréatiques a une pente inverse de celle du terrain, contrairement à la loi empirique de l'hydrologie qui veut que la nappe des eaux souterraines soit inclinée dans le même sens que le terrain.

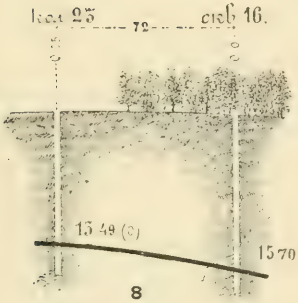
FIGURES.

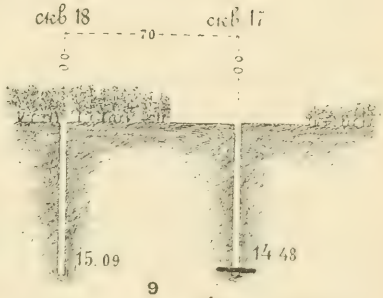
FORÊT CHIPOFF

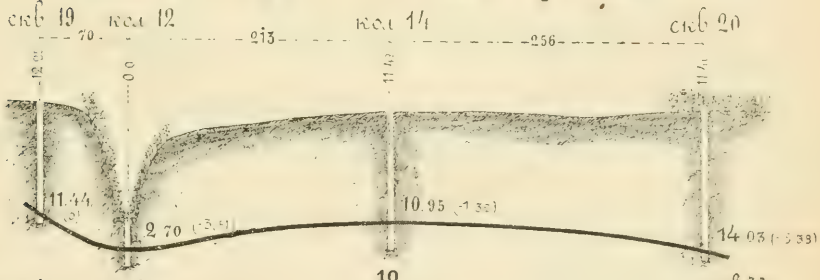


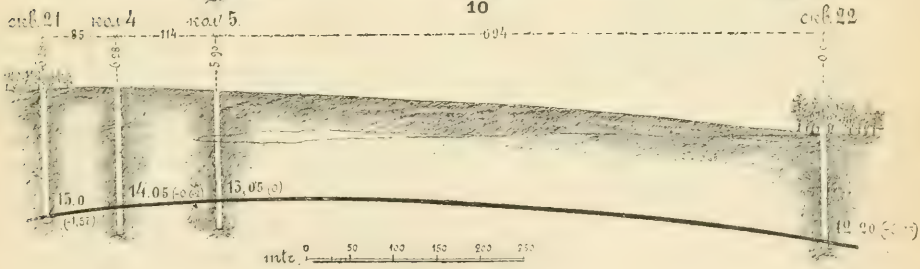
FORÊT NOIRE











LÉGENDE

скв = sondage;
кол = puits.

ÉCHELLE

1/500e pour les distances verticales;
1/2000e pour les distances horizontales.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME (1897)

Pages.

H. Pellet. — Études sur la canne à sucre; dosage du sucre, composition de la canne, échantillonnage (*suite et fin*). 1

Th. Schlœsing. — L'acide nitrique dans les eaux de rivière et de source. 75

A. Petermann. — Les produits chimiques employés à la stérilisation des excréments humains sont-ils nuisibles aux plantes agricoles et aux microbes bienfaisants du sol?. 120

M. Potier. — Étude sur l'emploi des engrais phosphatés sur les terres de l'infracrétacé de la Puisaye 136

M. Laurent. — Recherches expérimentales sur l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique par les plantes supérieures. 175

L. Grandeau. — Les gisements de phosphates de chaux d'Algérie. 213

A. Girard. — Recherches sur les quantités de matières fertilisantes nécessaires à la culture intensive de la pomme de terre. . 261

A. Müntz et **H. Coudon.** — Sur le dosage de la quantité de beurre contenu dans la margarine. 281

L. Grandeau. — Contribution à l'étude du vanillier. 295

M. P. Bonâme. — Station agronomique de l'île Maurice : Rapport sur les travaux de 1896. 307

E. Henry. — L'azote et la végétation forestière 359

Hilgard et **Loughridge.** — Sur la possibilité d'une culture avantageuse de la betterave à sucre dans certains terrains salants. Résumé par J. Vilbouchevitch 382

Pages.

Hilgard et Loughridge. — Échantillonnage des terrains salants. Façon de présenter les résultats de l'analyse; suite des Études sur les terrains salants de la Californie. Résumé par J. VILBOUCHEVITCH. 394

L. Grandeau. — De la valeur agricole des scories de déphosphoration 432

A. Petermann et J. Graftiau. — Existe-t-il une relation constante entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque acide et le poids de la récolte produite ? 445

P. Ototzky. — Influence des forêts sur les eaux souterraines. Excursion hydrologique de 1895 dans les forêts des steppes . . 455

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.